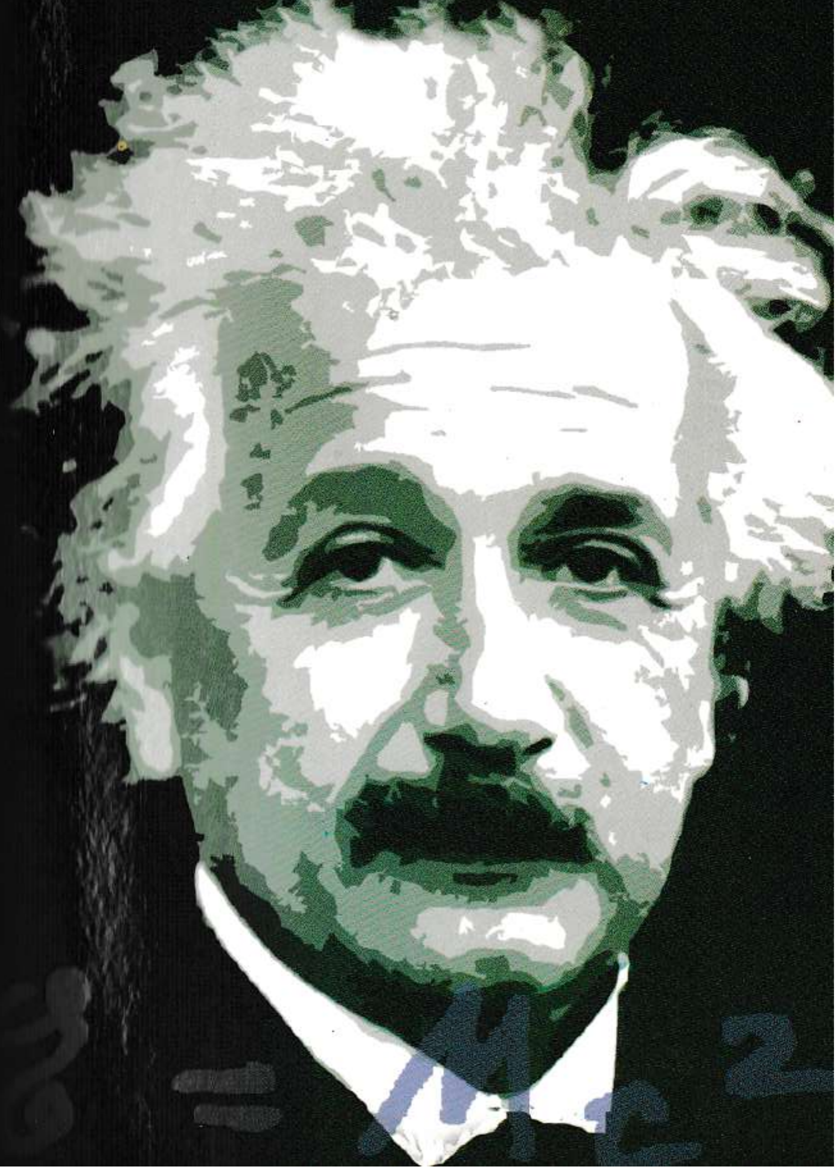
ऑल्बर्ट आइन्स्टाइन म्हणजे विसाव्या शतकावर आपला आणि आपल्या वैज्ञानिक सिद्धांतांचा अमिट ठसा उमटवणारा जगावेगळा महापुरुष. त्याने मांडलेल्या सापेक्षतावादाच्या सिद्धांताचे महत्त्व वादातीत असले, तरी प्रत्यक्ष त्या सिद्धांताबद्दल सामान्य वाचकांमध्ये गैरसमज पुष्कळ आढळतात. विनाकारण उद्भवलेल्या त्या गैरसमजांचे धुके बाजूस सारून स्वच्छ सूर्यप्रकाशात त्या सिद्धांताचा सुबोध परिचय करून देणारे हे पुस्तक.

अत्यंत क्लिष्ट मानला जाणारा सापेक्षतावाद आपल्यालाही सहज समजला, अशी अनुभूती मिळवून देणारे लक्षवेधी पुस्तक...

राजहंस प्रकाशन / पुणे

आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद

अरविन्द पारसनीस



आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद
अरविन्द पारसनीस

प्रकाशक
दिलीप माजगावकर
राजहंस प्रकाशन
१०२५, सदाशिव पेठ
पुणे ४११ ०३०
फोन - (०२०) २४४७३४५९
E-mail : rajhans1@pn2.vsnl.net.in

मुद्रक
रोहन एंटरप्रायझेस
१६/२, 'स्वोजस'
सहवास सोसायटी
कर्वेनगर
पुणे ४११ ०५२

Einsteincha
Sapekshatawad
Arvind Parasnis

अक्षरजुळणी
रेखा ढोले
प्रिंट लिंक
७६९/५, शिवाजीनगर
पुणे ४११ ००४

मुखपृष्ठ : सतीश देशपांडे

आवृत्ती पहिली : मार्च २००६

ISBN 81-7434-351-2

किंमत : १०० रुपये

क्रीळतौ पुत्रनप्तृभि: मोदमानौ स्वे गृहे।
विवाहसूक्त, ऋग्वेद

(मुलां-नातवंडांसह आपल्या घरी सुखाने राहा.)

फिरोझ कौशिक पारसनीस (वय साडेसात वर्षे)
योहान कौशिक पारसनीस (वय अडीच वर्षे)
गॅब्रिएला अनिका (गौतम) पारसनीस (वय सहा महिने)

ही माझी नातवंडे
केव्हा तरी मराठी शिकतील
व हे पुस्तक वाचतील,
या आशेने

प्रस्तावना

साधारण वाचकांसाठी लिहिलेल्या या पुस्तकाची पूर्वपीठिका बुद्ध्या विस्तारपूर्वक पुढे दिली आहे. 'साधारण' म्हणजे आइन्स्टाइन (१८७९-१९५५) या सापेक्षतावादाच्या जनकाच्या असामान्य प्रतिभेने मानवाला काय दिले, याविषयी उत्सुकता आहे तो वाचकवर्ग. मग त्याचे वय काही असो; विद्यालयीन, महाविद्यालयीन, विद्यापीठीय, तांत्रिक शिक्षण कोणत्याही स्तरावरील असो, ते चालू असो वा पूर्ण झालेले असो; शैक्षणिक किंवा व्यावसायिक क्षेत्र कोणतेही असो. मराठी वाचता येणे व उत्सुकता असणे पुरे आहे. या पुस्तकात केवळ सापेक्षतावाद आहे. विश्वोत्पत्ती, विश्वव्यवहार, कृष्णविवर व अनुषंगिक विषय हाताळलेले नाहीत.

आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाशी माझा परिचय १९४२ या वर्षी म्हणजे माझ्या वयाच्या चौदाव्या वर्षी झाला. त्या काळातील 'मतिविकास' या मासिकाच्या दोन अंकांत फर्गसन महाविद्यालयाच्या भौतिकी विभागाचे तत्कालीन प्रमुख प्राध्यापक रा. ना. जोशी यांचे सापेक्षतावादावर दोन लेख आले होते. ते वाचून, विशेष न कळूनही, माझे ज्येष्ठ बंधू व मी का प्रभावित झालो, हे आता सांगणे अशक्यप्राय आहे. प्रभावित झालो, हे मात्र सत्य. त्या वयातसुद्धा काहीतरी अवश्य समजले व ते मूलभूत आहे, हे उमजले, ही गोष्ट महत्त्वाची. त्यापुढील वर्षी, न्यू इंग्लिश स्कूल रमणबागेतील आमच्या मॅट्रिकच्या तीन तुकड्यांच्या 'कूजन' या हस्तलिखित वार्षिक नियतकालिकात मी सापेक्षतावादावर इंग्लिशमध्ये लेख लिहिला. तो जोशींच्या लेखावरून लिहिलेला होता. जोशींच्या लेखाच्या अंतीचे 'आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद आपल्याइकडील वेदांतासारखा दिसतो,' हे वाक्य मी 'इट इज जस्ट लाइक अवर वेदान्त,' असे अनुवादित करून लिहिले होते, असे आठवते. वास्तविक तसे मुळीच नाही. आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाने आध्यात्मिकतेला

तडा गेल्यामुळे अध्यात्मवादी लोकांनी त्याला विरोध केला होता. (परिशिष्ट ३ पाहा).

नंतर मी अधिक अभ्यासासाठी ऑल्बर्ट आइन्स्टाइन व त्याचा विद्यार्थी लिओपोल्ड इन्फेल्ड यांनी लिहिलेले 'भौतिकीची उत्क्रांती' (Evolution of Physics, केंब्रिज विद्यापीठ प्रकाशन) व अनेक व्यक्तींचे लेख असलेले 'आधुनिक ज्ञानाच्या दृष्टिकोनातून उत्क्रांती' (Evolution in the Light of Modern Knowledge, ब्लॅकी ॲण्ड सन प्रकाशन) ही दोन इंग्लिश पुस्तके घेतली.

मॅट्रिक्युलेशन परीक्षेनंतरच्या अवकाशात मी आइन्स्टाइनचे रेखाचित्र काढले, तेही जोशींच्या लेखातील, जर्मन चित्रकार स्ट्रुक याने रेखाटलेल्या, चित्रावरून. सहा दशके जपून ठेवलेले ते चित्र या पुस्तकात इतरत्र मुद्रित केले आहे. आधुनिक विज्ञानाच्या विकासाविषयी व सापेक्षतावादाकरता साधारण जिज्ञासूंसाठी आइन्स्टाइन-इन्फेल्डच्या पुस्तकापेक्षा अधिक सरस व उपयुक्त दुसरे पुस्तक मला आजपर्यंत सापडलेले नाही. जरा नेट धरला, तर ते एखाद्या कादंबरीसारखे वाचून होते. केवळ सापेक्षतावादाच्या परिचयासाठी साधारण वाचकांसाठी १९६२ सालचे भौतिकी नोबेल पुरस्कृत सोविएट वैज्ञानिक लेव्ह डेविडोविच लाण्डाउ व युरी रुमेर यांचे What is the theory of relativity हे लहानसे पुस्तक अत्युत्तम आहे. मी १९८०मध्ये घेतले, तेव्हा ते दीड रुपयाला मिळे. सोविएट संघराज्याचे विघटन झाल्यानंतर ते आता मात्र मिळत नाही. (परिशिष्ट पाचवे, स्रोतसूची पाहा).

आमच्या सद्भाग्याने फर्गसनमध्ये पहिल्या वर्षाला (१९४४-४५) भौतिकी शिकवायला प्राध्यापक दत्तात्रय श्रीधर जोग (१९०३-८५) होते. त्यांनी काही वर्षे अलाहाबाद विद्यापीठात मेघनाद साहांच्या मार्गदर्शनाने संशोधन केले होते. त्यांनी मला सापेक्षतावाद अधिक अभ्यासण्यासाठी उत्तेजन दिले, इतर पुस्तकेही सुचविली, जमेल तितके शंकानिरसन केले. सायंकाळी भौतिकी विभागातील त्यांच्या लहानशा, अर्ध्या प्लायवुड भिंती असलेल्या कक्षात बसून ते आम्हां दोघातिघा विद्यार्थ्यांना अभ्यासक्रमाबाहेरील अनेक गोष्टी शिकवायचे. स्नातकपूर्व भौतिकीसाठी त्यांच्याइतका जाणकार, सखोल विचार करणारा व विद्यार्थ्यांना शिकविण्याची स्वाभाविक इच्छा व क्षमता असलेला शिक्षक, आताचा काळ सोडाच, त्याकाळीसुद्धा जरासा विरळा असे. जोगांच्यामुळे मला भौतिकीमध्ये अधिक रस निर्माण झाला व मी ठरविले की, आजन्म व्यवसाय म्हणून भौतिकीक्षेत्रच निवडायचे.

त्यानंतर इंग्लंडमधील ब्रिस्टल विद्यापीठात पीएच.डी. करीत असताना इतर अनेक विषयांसह सापेक्षतावाद मूलभूत स्वरूपात समजण्याच्या दृष्टीने अभ्यासायची संधी मिळाली, तीही चार्ल्स् फ्रँक, डेविड बोह्म, मॉरिस प्राइस, नोबेल पुरस्कृत (१९५०) सेसिल पाउएल या सुविख्यात जगन्मान्य प्राध्यापकांकडून. भारतात परतून आय्. आय्. टी. कानपूरमध्ये प्राध्यापक झाल्यावर इतर विषयांसह सापेक्षतावादाचे अध्यापन व पुढील अध्ययन करणे ओघाने आलेच.

१९७९मध्ये आइन्स्टाइनच्या जन्मशताब्दी निमित्त विविध कार्यक्रम आयोजिण्याचे

उत्तरदायित्व आय्. आय्. टी. कानपूरने माझ्यावर सोपविले. सहकाऱ्यांच्या व त्याहून महत्त्वाचे म्हणजे विद्यार्थ्यांच्या साहाय्याने एक सप्ताह अनेकविध कार्यक्रम पार पडले. त्यातील कलाप्रदर्शनी सर्वोत्तम व लोकप्रिय ठरली. विद्यार्थ्यांनी निबंधलेखन, काव्यरचना, रेखाचित्रे, रंगचित्रे, स्थिर व चल शिल्पे, प्रकाशचित्रे अशा अनेकविध माध्यमांतून आइन्स्टाइन, सापेक्षतावाद व विश्वोत्पत्ती याविषयींच्या आपल्या संकल्पना व कल्पना नावीन्यपूर्ण रीतीने मांडल्या. तयारी तीन-चार महिने चालू होती. हे कार्य माझ्या दृष्टीने शेक्सपिअरच्या शब्दांत 'प्रेमापायी परिश्रम' असे होते.

गेले सहस्रक उलटायच्या आधी दोन वर्षांपासून (१९९८-२०००) अमेरिकेतील 'टाइम' साप्ताहिकाने 'टाइम-वॉर्नर' उद्योगसमूहाच्या वतीने मोठ्या प्रमाणावर सर्वेक्षण व संशोधन चालविले होते, ज्यांचा प्रभाव मानवी संस्कृतीवर अधिकतम पडला अशा विसाव्या शतकातील व्यक्ती कोण व का. निर्णयाची घोषणा व्हायच्या वेळी मी अमेरिकेत होतो. एका अमेरिकन प्राध्यापक मित्राने विचारले, "अरविन्द, कोण निर्वाचित होईल बरे तुझ्या मते?" उत्तर माझ्या मनात होतेच, "आइन्स्टाइन पहिली व्यक्ती व गांधीजी दुसरी." तसेच झाले. दुसरी व्यक्ती म्हणून गांधीजींसह फ्रँकलिन रुझवेल्ट्ला निवडले होते, ते मात्र माझ्या मनात नव्हते.

अशा प्रकारे १९४२ पासून साठाहून अधिक वर्षे मी हा विषय अभ्यासत व शिकवत आहे. व्यावसायिक शिक्षक म्हणून मला नेहमी वाटते की, कल्पना, संकल्पना, विषय, तत्त्वे, विचारप्रणाली इत्यादींत मूलत: क्लिष्टता नसते. त्यांसंबंधी बोलणारी, लिहिणारी, ते शिकविणारी व्यक्ती कळत-नकळत ती आणते. पुष्कळदा शिक्षकाच्या, लेखकाच्या, व्याख्यात्याच्या गावीही नसते की, विद्यार्थ्यांना, वाचकांना, श्रोत्यांना आपला संदेश मिळायला व निदान त्याचा गाभा तरी आकलन व्हायला पाहिजे. संदेश मनाला भिडत नसेल, तर तो देण्याचा प्रयत्न करण्याला अर्थ नाही. कधी कधी ती क्षमताच सांगणाऱ्यांच्यात नसते. म्हणजे ज्ञान असते, परंतु समजावून देणे जमत नाही. काहींना स्वत:लाच विषय पूर्ण समजलेला नसतो. काही वेळा आपल्या ज्ञानाचे प्रदर्शन करण्यासाठी क्लिष्टता आणली जाते. विज्ञान, भौतिकी, गणित हे विषय कठीण, अशी विद्यालयीन व महाविद्यालयीन विद्यार्थी-विद्यार्थिनींची समजूत होण्याचे बहुतांश कारण अर्धशिक्षित अयोग्य शिक्षक अयोग्य पद्धतीने शिकवितात, हे आहे. अ-वैज्ञानिक विषयांचे शिक्षक त्याहून चांगले शिकवितात, असे मात्र नाही : बहुधा तेही तसेच. वृत्तपत्रे, नियतकालिके, आकाशवाणी, दूरचित्रवाणी या माध्यमांच्या सतत संपर्कामुळे भाषा व व्याकरण, साहित्य, इतिहास, समाजविज्ञान, प्रचलित राष्ट्रीय व जागतिक घटना, वाणिज्य, इत्यादी विषयांशी विद्यार्थी-विद्यार्थिनींचा संबंध अजाणता प्रत्यही येत असतो. म्हणून त्यांच्या व त्यांच्या माता-पित्यांच्या मनात आभास निर्माण होतो की, शिकविलेले सर्व समजते आहे. अर्थात् सर्व विषयांत कोठे ना कोठे काही चांगले शिक्षक-प्राध्यापक आजही असणारच.

आधीच ही परिस्थिती, त्यात सापेक्षतावादाविषयी अनेक वदंता आहेत. सर्वांत बोलकी ही आहे. २९ मे १९१९ या दिवशी दक्षिण अमेरिकेत झालेल्या खग्रास सूर्यग्रहणावेळी प्रख्यात ब्रिटिश खगोल वैज्ञानिक आर्थर एडिंग्टन याच्या नेतृत्वाखाली घेतलेल्या व त्यानंतर सहा महिन्यांनी प्रसिद्ध केलेल्या वेधांवरून आइन्स्टाइनने काढलेले निष्कर्ष सिद्ध झाले. एडिंग्टनला कोणा वार्ताहराने विचारले, "आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद समजलेल्या केवळ तीनच व्यक्ती जगात आहेत, ते खरे आहे काय?" तो उद्‌गारला, "तिसरी कोण?" ही वदंता आहे, हे त्याने स्वत: लिहिले आहे. परंतु वदंता त्या वदंता राहतातच. आज पुष्कळ भारतीय वैज्ञानिकांनाही माहीत नाही की, १९२०च्या आसपास मेघनाद साहा व सत्येन्द्रनाथ बोस या पुढे सुविख्यात झालेल्या भारतीय वैज्ञानिकांनी सापेक्षतावादावर एक लहानसे पुस्तक लिहिले होते, तेही आइन्स्टाइनचे जर्मन भाषेतील मूळ निबंध वाचून व अनुवाद करून. त्यावेळी तिशीच्या उंबरठ्यावरचे ते दोघे ढाका विद्यापीठात केवळ प्रपाठक होते. एक शतक परकीयांचे राज्य असलेल्या, पूर्वसंचितात बुडालेल्या, अविकसित भारतातील दोन तरुण वैज्ञानिक असे पुस्तक लिहितात, ही घटनाच स्फूर्तिदायी होती.

काही वर्षांपूर्वी १०-१६ वर्षे वयाच्या शालेय विद्यार्थ्यांना एका तासाच्या अवधीत मी सापेक्षतावादाविषयी मराठीत जे थातुरमातुर सांगितले, ते त्यांना कळले; एवढेच नाही, तर त्यांची जिज्ञासा जागृत झाली. हे सर्व सांगताना मी फळ्यावर सूत्रे/समीकरणे लिहिली नाहीत. आकृत्या, चित्रे व व्यंगचित्रे मात्र काढली वा दाखविली. या पुस्तकाप्रमाणेच साध्या आकड्यांची बेरीज-वजाबाकी-गुणाकार-भागाकार यापलीकडे काहीही गणित नव्हते.

साधारण वाचकांसाठी सापेक्षतावादावर लहानसे पुस्तक लिहावे, असे काही वर्षे माझ्या मनात घोळत होते. मुळात ते इंग्लिशमध्ये लिहिण्याचा बेत होता. (आता जिवंत नसलेले) माझे परिचित जनार्दन देशपांडे काही वर्षे मला अनेकविध प्रश्न विचारीत असत. (ते माझ्यानंतर दहा वर्षांनी फर्गसनमधून भौतिकी घेऊन बी.एससी. झाले व तद्‌नंतर इलेक्ट्रॉनिक्सची पदविका घेऊन कालांतराने मुंबईला यशस्वी लघु-उद्योजक झाले.) त्यांना सापेक्षतावादात रस होता. ते मराठीत विचारीत, मी मराठीत उत्तरे देई. ते पुष्कळदा म्हणत, "डॉक्टरसाहेब, यात न कळण्यासारखे काय आहे? मला कळले की आणि मी तर मामुली लघु-उद्योजक. आइन्स्टाइनच्या वाटेला जाऊ नये, अशी समजूत का करून दिली जाते हो?" हळूहळू मला स्फुरले की, साधारण वाचकांसाठी मराठीत लहानसे पुस्तक लिहायला पाहिजे.

गेले वर्ष २००५, म्हणजे केवळ विज्ञानाचे नाही, तर संपूर्ण मानवी संस्कृतीचे यथाकाल परिवर्तन करणारे सिद्धांत असलेले आइन्स्टाइनचे पाच निबंध त्याच्या वयाच्या सव्विसाव्या वर्षी प्रसिद्ध झाले, त्या १९०५ या वर्षाची शताब्दी. हे परिवर्तन विज्ञानापुरते मर्यादित नव्हते. मानवाच्या एकूणच वैचारिक, तात्त्विक,

आध्यात्मिक, धार्मिक व सभोवतीच्या वास्तविक जगाचे आमूलाग्र परिवर्तन झाले. त्यानंतर दहा-अकरा वर्षांनी गुरुत्वाकर्षणाचा नवीन सिद्धांत देऊन आइन्स्टाइनने अशीच आमूलाग्र क्रांती पुन्हा घडविली. आणखी दोन वर्षांनी ज्या संकल्पना त्याने निर्माण केल्या, त्यांतून त्यानंतर चाळीस वर्षांनी आजचा प्रसिद्ध लेझर निघाला. या पुढच्या सिद्धांतांच्या शताब्दींना अजून दहा-बारा वर्षे आहेत. तथापि १९०५ची क्रांती हा अतिमहत्त्वाचा टप्पा होता, तेव्हा हे माझे पुस्तक या पार्श्वभूमीवर प्रसिद्ध करण्यामध्ये विशेष अर्थ, महत्त्व व औचित्य आहे.

आइन्स्टाइनच्या व्यक्तिमत्त्वाने जगाला १९०५-५५ हे अर्धशतक भारून टाकले होते. 'विज्ञानाची सदसद्विवेकबुद्धी' हे त्याचे वर्णन यथायोग्य होते. त्याचे पैलू अनेक होते, केवळ विज्ञान नव्हते, म्हणून 'मानवाची सदसद्विवेकबुद्धी' असेसुद्धा करता येईल. स्वत:चे विचार व मते स्पष्टपणे सांगायला तो कधी कचरला नाही. नात्सीझमला त्याने इतका प्रखर विरोध केला की, १९३३मध्ये हिटलर सत्तेवर आल्यानंतर आइन्स्टाइनला ठार करण्यासाठी मारेकरी नेमले होते. बर्लिनमधील त्याची सर्व मालमत्ता जप्त केली गेली, त्याचे प्राध्यापकत्व व नागरिकत्व रद्द करण्यात आले इत्यादी. त्यावेळी व्याख्याने देण्यासाठी तो अर्जेंटिनामध्ये होता. तेथून इंग्लंडला गेल्यानंतर त्यापुढील काही महिने आइन्स्टाइनला उत्तर इंग्लंडमध्ये लपवून ठेवायला लागले. त्या वेळच्या पॅलेस्टाइन संबंधात जगातील कट्टर ज्यू नेते करीत असलेल्या अरबांच्या विरोधाला त्याचा विरोध होता. "आपण अरबांशी मिळते जुळते घेतले नाही, तर आपणा ज्यूंना शतकानुशतके युरोपभर मिळालेली सापत्नभावाची वागणूक योग्य होती, असेच म्हणायला लागेल," हे तो प्रतिपादत असे.

जगभर सर्वसाधारण जनांच्या मनात नकळत आइन्स्टाइनची प्रतिमा त्याच्या काळी निर्माण झाली, तशी आजही होते. एखाद्या बुद्धिमान व्यक्तीचे वर्णन "तो/ती अगदी आइन्स्टाइन आहे बरं का" असे केले जाते. एखाद्याच्या बुद्धीचा उपहास करायला "तुला काय वाटते, तू आइन्स्टाइन आहेस?" हा शब्दप्रयोग सर्वजण सहजत: करतात. बुद्धिमान परंतु तथाकथित वेंधळ्या व्यक्तीचे व्यंगचित्र नेहमी आइन्स्टाइनसारखे दिसते. अर्थात तो वेंधळा नव्हता.

१९७९मध्ये अमेरिकन अकॅडमी ऑफ सायन्सेसने वॉशिंग्टनमधील आपल्या प्रांगणात सुविख्यात अमेरिकन शिल्पकार रॉबर्ट बर्क्सने घडविलेले विश्वासंबंधी चिंतन करत असलेल्या आइन्स्टाइनचे प्रचंड शिल्प प्रस्थापित केले. १९९५ मध्ये जवळच्या एलिकॉट सिटीमध्ये एका भूतपूर्व विद्यार्थ्याकडे माझे वास्तव्य असताना ते शिल्प पाहायला गेलो, तेव्हा तो विद्यार्थी व माझा कनिष्ठ पुत्र गौतमही आले होते. विद्यार्थ्याने शेरा मारला, "सर, प्रत्येक वेळी तुम्हांला हे शिल्प कशाला पाहायला लागते?" मी काही बोलायच्या आधी गौतम उद्‌गारला, "सत्यन्, ही डॅडीची तीर्थयात्रा आहे. लोक तिरुपती, बद्रीनाथ, केदारनाथला पुन:पुन्हा जातात, तसेच"! (या गमतीच्या उद्‌गारावरून

असे समजू नये की, अध्यात्म, पारलौकिकता, धर्म इत्यादी संकल्पनांचे तत्त्वज्ञान मला मान्य आहे. नाहीच, कारण मी इहवादी आहे.)

अशा या आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादावर हे लिखाण आहे. त्याचे जीवन, त्याची स्वभाववैशिष्ट्ये, त्याचे इतर वैज्ञानिक कार्य, जगातील जनमानसावर, समाजनीतीवर व राजनीतीवर पडलेला त्याचा प्रभाव इत्यादी संक्षिप्त स्वरूपामध्ये दिले आहे. आइन्स्टाइन-इन्फेल्डनी त्यांच्या पुस्तकाच्या प्रस्तावनेत म्हटले आहे, "हे पुस्तक म्हणजे वाचकांशी आमचा संवाद आहे." तसेच मला म्हणावेसे वाटते, "माझी ही पुस्तिका भाषण नाही, संभाषण आहे."

आइन्स्टाइनने अनेक गोष्टींवर भाष्य केले. वेचक उक्ती परिशिष्ट २ मध्ये दिल्या आहेत. व्यक्तिशः मला सर्वांत आवडणारे भाष्य गांधीजींविषयी त्यांच्या वयाच्या सत्तराव्या वर्षानिमित्त 'न्यू यॉर्क टाइम्स' मधील लेखात (१९३९) केलेले आहे... "यापुढे जन्मणाऱ्या पिढ्यांना खरे वाटणार नाही की, अशी मानवी व्यक्ती या पृथ्वीवर प्रत्यक्ष जन्म पावली होती व मानवाच्या सर्वांगीण उन्नतीकरता तिने आपले आयुष्य वेचले."

अरविन्द पारसनीस

ऋणनिर्देश

माझे पिता श्रीपाद रामचन्द्र पारसनीस (१९०१-८०), डेक्कन् एज्युकेशन् सोसायटीचे आजीव सभासद (१९३३-६१) व फर्गसन महाविद्यालयाच्या मराठी विभागाचे प्रमुख (१९४१-६१), आज नाहीत. त्यांचा पिण्ड वैज्ञानिकसुद्धा होता. इंग्लिश, मराठी, संस्कृत साहित्यासारखीच विज्ञानाची आवड आमच्यात त्यांनी निर्माण केली. त्यांनी आणलेली जगदीशचंद्र बोस व एडिसन यांची मराठी चरित्रे वाचून आम्हांला विज्ञानाची गोडी लागली. लहान लहान प्रयोग घरी करून पाहायला त्यांनी उत्तेजन दिले. इंग्लंडमध्ये बनणारा मेकॅनो आणला, फोटोग्रफी शिकविली. रात्री अंगणात बसून ते आम्हांला आकाशातील तारे, नक्षत्रे, ग्रह इत्यादी दाखवीत व त्यामागील भारतीय आणि ग्रीक पुराणांतील कथा सांगत, लीपवर्षाचे परिगणन शिकवीत. आम्ही विद्यालयात शिकत असताना गणितातील आमच्या शंकांचे निरसन ते करत व आम्हांला न उकलणारी उदाहरणे सोडवून देत. त्यांची आठवण आज होणे स्वाभाविक आहे.

प्राध्यापक द. श्री. जोगांच्या ऋणाचा निर्देश प्रस्तावनेत आला आहे. ते विद्यार्थ्यांशी मित्रत्वाने वागत. त्यांचे घर विद्यार्थ्यांना उघडे असे.

माझी कनिष्ठतम भगिनी निर्मला (विवाहोत्तर सुनंदा कोगेकर) मराठीची एम्. ए. मराठी साहित्याची अभ्यासक, थोडीशी लेखिका व अनेक वर्षे दिल्लीला *आकाशवाणी*च्या मराठी विभागाची प्रमुख, आता निवृत्त. अर्थाअर्थी तिचा विज्ञानाशी संबंध नसूनही तिने हे सर्व लिखाण बारकाईने वाचून काही ठिकाणी सुधारले व इतरही पुष्कळ सुचविले.

पुणे विद्यापीठाच्या भौतिकी विभागातील प्रपाठक (व माझा दोन पिढ्या दूरचा भाचा) प्रमोद जोग याने सर्व वाचून सुधारणा सुचविल्या.

'मेघदूता'त कालीदासाचा यक्ष मेघाला म्हणतो,

आ कैलासाद्विसकिसलयच्छेदपाथेयवन्तः ।
संपत्स्यन्ते नभसि भवतो राजहंसाः सहायाः॥

त्यातील 'राजहंस' म्हणजे 'फ्लॅमिंगो' हा सुंदर पक्षी. ''वर्षाऋतूच्या आरंभी 'तुझी' (म्हणजे मेघाची) गर्जना ऐकून मानस सरोवरातील मृदु मृणाल पाथेय म्हणून चोंचीत धरून तो तुझ्यासमवेत उत्तुंग कैलासपर्वताकडे जातो व हिवाळ्याची चाहूल लागताच परत दक्षिणेला जातो,'' अशी कविकल्पना.

आइन्ष्टाइनच्या सापेक्षतावादाची पायवाट दाखविणारे माझे हे पुस्तक 'मृदु' आहे की नाही, हा मलाच संदेह आहे. तथापि 'राजहंस' प्रकाशनच्या दिलीप माजगावकरांनी हे अनोखे पुस्तक प्रकाशित करायचे अल्पावधीत ठरविले. त्यांच्या 'राजहंसा'ची प्रतिवर्षाची भरारी सर्वज्ञात आहे. यथाकाल त्यांनी पुस्तकाचे संपादन आनंद हर्डीकरांकडे सोपविले. मी गृहीत धरत असलेल्या माझ्या काटेकोरपणामध्ये त्रुटी आहेत, हे हर्डीकरांनी मला कळत-नकळत, आपेआप पटवून दिले. हे त्यांना प्रतीत होत नसेल, परंतु मला होत आहे. अक्षरजुळणीतज्ज्ञ रेखा ढोले व कलाकार सतीश देशपांडे यांच्याविना पुस्तकाचे स्वरूप आकर्षक होऊ शकले नसते.

गेले अर्धशतक मी या ना त्या प्रकारे शिक्षक आहे, निवृत्त्योत्तरसुद्धा. सहस्त्रावधी विद्यार्थ्यांकडून मी जे शिकलो, त्याच्या नेणिवेतील प्रतिमेचे प्रतिबिंब या लेखनात कळत-नकळत उमटले असणार. चौसष्ट वर्षे सापेक्षतावादावरील व आइन्ष्टाइनवरील अनेक वैज्ञानिक व तात्त्विक ग्रंथ, निबंध, लेख, स्फुट लेख वाचले असल्यामुळे त्यातील कोणत्या स्रोतातून काय समजले व या पुस्तकातील कोणत्या कल्पना सुचल्या, हे आता सांगणे अशक्य आहे. जेथून प्रत्यक्ष काही घेतले आहे किंवा जे वाचून अलीकडे या पुस्तकाच्या संदर्भात काही सुचले, त्या सर्व स्रोतांची सूची पुस्तकाच्या अंती दिली आहे.

अंती, व प्रारंभीही, *गृहिणि सचीवः सखी मिथः प्रियशिष्या ललितेकलाविधौ* अशी मीरा.

❑❑

निवेदन

पुस्तक वाचायला आरंभ करण्याआधी वाचकांना काही सांगायचे आहे, ज्यायोगे वाचन सुकर होईल. प्रथम हे की * असे चिन्ह असलेले अनुभाग सोडून दिले, तरी चालेल. त्यामुळे पुढील वाचनाला बाधा येणार नाही.

विज्ञान, सापेक्षतावाद, गणित इत्यादी समजायला कठीण असते, ही नकारात्मक भूमिका असल्यास ती टाकून द्यावी. 'हे मला समजेलच', अशी सकारात्मक भूमिका घ्यावी. ज्यांचा व्यावसायिक विषय भौतिकीच काय, कोणतेही विज्ञानसुद्धा नाही, अशा परंतु आइन्ष्टाइनविषयी औत्सुक्य असलेल्या व्यक्तींना समजावे, या इच्छेने व त्यांच्यामधील निदान काही व्यक्ती या प्राथमिक पुस्तकाच्या पुढे जातील, या आशेने प्रस्तुत पुस्तकाचा प्रपंच केला आहे.

शब्दार्थविज्ञानानुसार 'स्पेशल रेलेटिव्हिटी'ला विशिष्ट सापेक्षतावाद व 'जनरल रेलेटिव्हिटी'ला सामान्य सापेक्षतावाद या संज्ञा देणे प्राप्त आहे. 'सामान्य' याचा दैनंदिन व्यवहारातील 'कॉमन' हा अर्थ येथे अभिप्रेत नाही. त्या अर्थानुसार 'सामान्य सापेक्षतावाद' खरा तर असामान्य आहे!

आइन्ष्टाइनच्या सापेक्षतावादाचे विशिष्ट सापेक्षतावाद (१९०५) व सामान्य सापेक्षतावाद (१९१६) असे दोन भाग मानले जातात. पहिल्यातील संकल्पनांचे आकलन तुलनेने सोपे आहे, तसेच त्याचे गणित एकूण साधेसुधे आहे. या पुस्तकात मात्र काहीही गणित नाही. साध्या आकड्यांची बेरीज, वजाबाकी, गुणाकार, भागाकार व अल्पतम भूमिती यापलीकडे गणित नाही. हे अंकगणित बालपणी प्राथमिक विद्यालयात शिकलेले असते व ही भूमिती माध्यमिक विद्यालयात शिकलेली असते.

'सामान्य सापेक्षतावाद' दोन्ही दृष्टींनी तितका सोपा नाही. वास्तवात असे आढळते

की, भौतिकी हा व्यावसायिक विषय असलेले बहुतेक वैज्ञानिकसुद्धा त्याच्या वाटेला, एम.एससी.च्या (अथवा पीएच.डी.च्या) अभ्यासक्रमात जेवढे शिकलेले असते, त्यापलीकडे फारसे जात नाहीत. असेही आढळते की, बहुतेक वैज्ञानिकांच्या व्यावसायिक संशोधनामध्ये अधिकतर विशिष्ट सापेक्षतावाद उपयोजिण्याची आवश्यकता असते. सामान्य सापेक्षतावाद प्रत्यक्ष वापरणारे वैज्ञानिक तुलनेने विरळा. या पुस्तकाच्या उद्दिष्टाला अनुसरून नसलेले, खगोल-भौतिकीमध्ये गणले जाणारे 'विश्वोत्पत्ती', 'विश्वव्यवहार', 'कृष्णविवरे' इत्यादी विषय संपूर्ण गाळले आहेत.

मराठीत लिहायचे, तर बहुतेक शब्द व संज्ञा प्रायः मराठीतील असायला पाहिजेत, मग त्या दैनंदिन व्यवहारातल्या असोत किंवा विषयाला अनुसरून विशिष्ट असोत. मुळात मराठीत नसलेले विशिष्ट शब्द व नसलेल्या विशिष्ट संज्ञा मी महाराष्ट्र शासनाच्या भाषा संचालनालयाने प्रसिद्ध केलेल्या 'भौतिकी परिभाषा कोश' या ग्रंथातून घेतल्या आहेत. काही संज्ञा पुष्कळांना अपरिचित असतील. सत्यस्थिती अशी आहे की, कितीतरी संज्ञा मलाही अपरिचित होत्या! त्यांचा परिचय व्हायला विशेष यत्न करायला लागले, असे मात्र नाही. मला असे आढळले आहे की, यांतील बहुतेक प्रतिशब्दांचा व संज्ञांचा परिचय किशोरवयीन व तरुण विद्यार्थी-विद्यार्थिनींना असतो, कारण त्यांनी विद्यालयात केव्हातरी साधारण विज्ञान मराठीतून शिकलेले असते. तिशी-पस्तिशीच्या पुढे असलेल्या वाचकांना ते कदाचित चमत्कारिक वाटतील, परंतु ते अपरिचयामुळे. भाषेच्या वा विज्ञानाच्या दृष्टीने त्यांत न समजण्यासारखे काही नाही. सुविधेकरता अशा शब्दांचा लहानसा 'कोश' परिशिष्ट १ मध्ये दिला आहे.

इंग्लिशमधील 'सायन्स' व 'सायंटिस्ट' या शब्दांना मराठीमध्ये साधारणतः रूढ झालेले शास्त्र व शास्त्रज्ञ हे प्रतिशब्द संपूर्ण चूक आहेत, त्याऐवजी विज्ञान व वैज्ञानिक हे संस्कृतातील अर्थाप्रमाणे यथायोग्य (कन्नड, हिंदी, तेलगु, मल्याळम इत्यादी सर्व भाषांमध्ये रूढ झालेले) प्रतिशब्द सर्वत्र उपयोजिले आहेत. इतर मराठी लेखक, प्रकाशक, मुद्रक, मुद्रितशोधक, पत्रकार, वृत्तपत्रे इत्यादी याचे अनुकरण करतील, अशी आशा करतो.

दैनंदिन व्यवहारातील मराठीत पुष्कळदा एकाच अर्थाचे दोन वेगळे शब्द असतात, एक संस्कृतजन्य व दुसरा फारसी-अरबी-तुर्की यांपैकी एखाद्या भाषेतून आलेला. उदाहरणार्थ, केवळ व फक्त. मी केवळ पहिल्या प्रकारचे शब्द वापरले आहेत.

आणखी एक उदाहरण म्हणजे महिला व बाई. 'प्रवासी बाई' असे न लिहिता वा न बोलता मी 'प्रवासी महिला' असे लिहितो व बोलतो. या पुस्तकात तीच शैली ठेवली आहे.

'ठिकाण' हा शब्द 'स्थान'वरून आला असला, तरी या पुस्तकात मी बहुतकरून 'स्थान'च वापरला आहे.

काही इंग्लिश शब्दांना सुयोग्य मराठी प्रतिशब्द सापडत नाहीत किंवा रचता येत

नाही. 'ट्रेन'ला 'आगगाडी' संबोधणे आजच्या युगात योग्य नाही. 'लोहमार्ग-गाडी' या बोजड शब्दरचनेऐवजी मी 'रेलगाडी' हा सुटसुटीत शब्द वापरला आहे. 'भारतीय रेल' ही शब्दरचना आता सर्वत्र रूढ झाली आहे. त्याचप्रमाणे 'स्टेशन'ला 'स्थानक' हा प्रतिशब्द आता बोलण्यात नाही तरी लेखनात सर्वत्र वापरात आलेला आहे.

उच्चारसाधर्म्यामुळे संदिग्धता उत्पन्न होऊ नये, याकरता दोन उदाहरणे देतो. 'संहती' व 'संहिता' हे शब्द अनुक्रमे 'युनियन' व 'कॉम्पिलेशन' या अर्थांनी वापरले आहेत. तसेच 'प्रवेग' म्हणजे 'ॲक्सेलरेशन' व 'संवेग' म्हणजे 'मोमेंटम'.

'शेप' याला 'रूप' व 'साइज' याला 'आकार' हे शब्द योजिले आहेत. दोन्हींना 'आकार' म्हटले, तर संदिग्धता येते.

एखादी कल्पना/संकल्पना किंवा एखादे विवेचन पहिल्या वाचनात पूर्ण समजले नाही, असे वाटले, तर तेवढा भाग पुन्हा वाचावा. तसे करूनही नाही समजले, तरी पुढे जावे. पुढील संदर्भावरून अवश्य समजेल. जिज्ञासूंकरता अधिक माहिती परिशिष्ट ३ व ४ यांमध्ये दिली आहे.

या पुस्तकात 'मध्यांतर' म्हणून विशिष्ट सापेक्षतावाद (प्रकरणे १-७) व सामान्य सापेक्षतावाद (प्रकरणे ९ व १०) यांच्यामध्ये आठव्या प्रकरणात आइन्स्टाइनचे चरित्र दिले आहे. ज्या वाचकांना काही कालाने पुढे वाचायचे असेल, ते तेथे विश्रांती घेऊ शकतील. आइन्स्टाइनचे व्यक्तिमत्त्व वाचकांच्या मनात प्रकट होईल, अशी माहितीही आहे. आइन्स्टाइनच्या मनोविश्वासंबंधी शब्दशः शेकडो लोकांनी जे लिहिले आहे, ते पुष्कळदा परस्परविरोधी आहे. विशेषतः त्याला पारलौकिक संकल्पना मान्य होत्या की नाही, यावर. मी अर्थात माझा अन्वयार्थ दिला आहे.

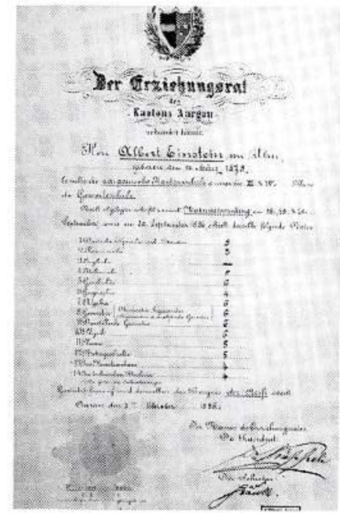
आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद हे विज्ञानातीलच नाही, तर मानवी संस्कृतीच्या ज्ञानातील व तत्त्वज्ञानातील एक वैशिष्ट्यपूर्ण सौंदर्यस्थल आहे. ज्याप्रमाणे संगीत, नृत्य, रंगकला, साहित्य, संस्कृत भाषा इत्यादींशी प्रत्येक व्यक्तीची निदान तोंडओळख असणे आवश्यक आहे, त्याप्रमाणेच विज्ञानाशी असणेसुद्धा आवश्यक आहे. त्यातही विशेषेकरून सापेक्षतावादाशी. प्रभाकर पाध्यांच्या 'सौंदर्यानुभव' (१९७९, मुंबई : मौज प्रकाशन) या सौंदर्यशास्त्रविषयक उत्कृष्ट ग्रंथात सापेक्षतावादातील अनेक संकल्पनांचा संदर्भ दिला आहे. तशी अनुभूती माझ्या या लहानशा पुस्तकाने यावी, अशी मनोमन इच्छा आहे.

□□

अनुक्रम



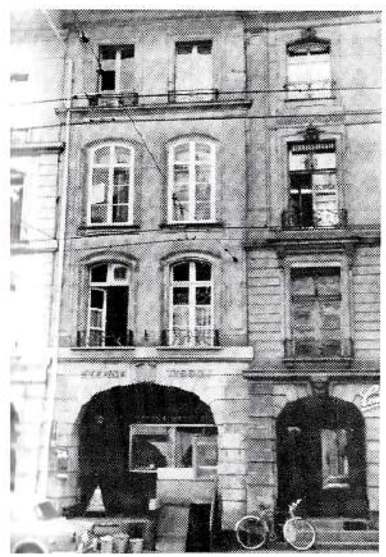
ऑल्बर्ट व भगिनी माया



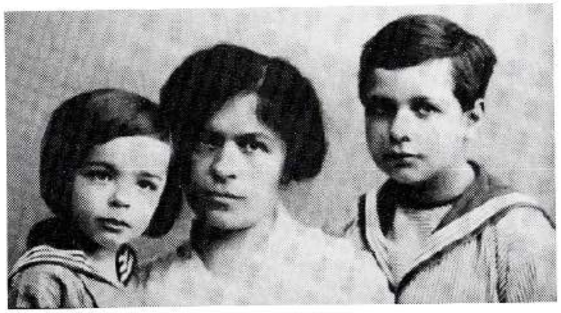
Der Erziehungsrat des Kantons Aargau

Albert Einstein

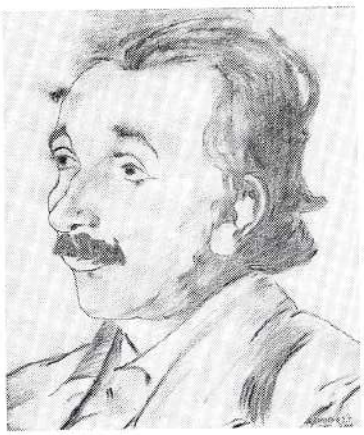
सतराव्या वर्षी स्वित्सर्लंडमधील आराउ विद्यालयातून उत्तीर्ण होतेवेळची गुणपत्रिका (४.१/६ म्हणजे ८२% गुण. भौतिकी व गणितात तर १००%. आइन्स्टाइन 'ढ' होता, हे संपूर्ण असत्य आहे.)



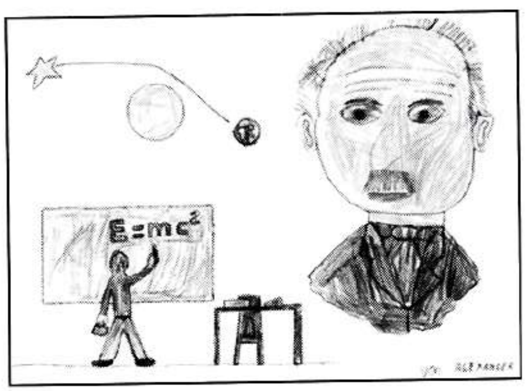
१९०३-०५ या कालात बर्नमध्ये आइन्स्टाइनचे वास्तव्य असलेल्या सदनिकेची इमारत, आता आंतरराष्ट्रीय स्मारक.



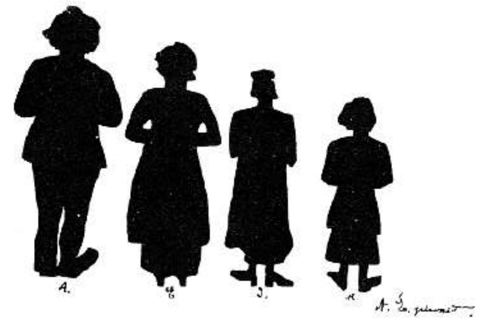
प्रथम पत्नी मिलेवा, एडुआर्ड व हान्स हे दोघे पुत्र



जर्मन चित्रकार स्ट्र्युक याने
१९२२ मध्ये काढलेल्या रेखाचित्रावरून
लेखकाने १९४४ मध्ये काढलेले रेखाचित्र



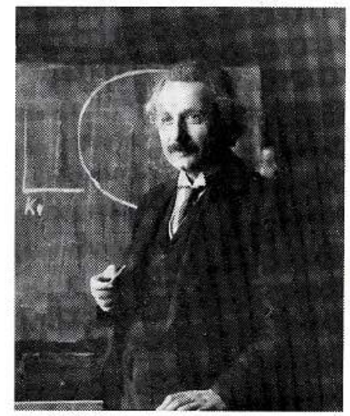
साठ-सत्तर वर्षांपूर्वी
अकरा-बारा वर्षे
वयाच्या जर्मन मुलाने
काढलेले चित्र



आइन्स्टाइन, द्वितीय पत्नी
एल्सा, तिच्या कन्या इल्से
व मार्गोट या सर्वांचे चित्र.
(silhouette)



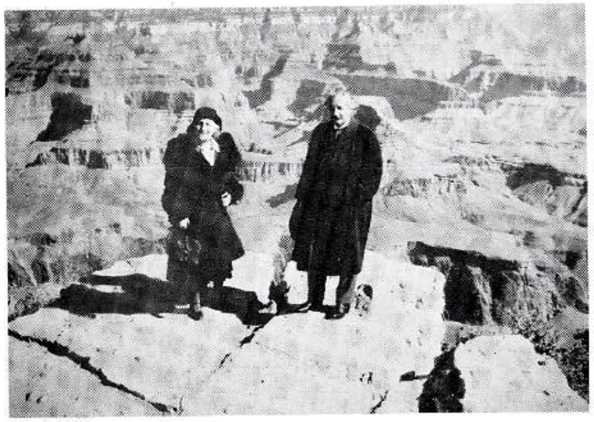
तरुणपणीचे प्रकाशचित्र



व्याख्यान देताना आइन्स्टाइन



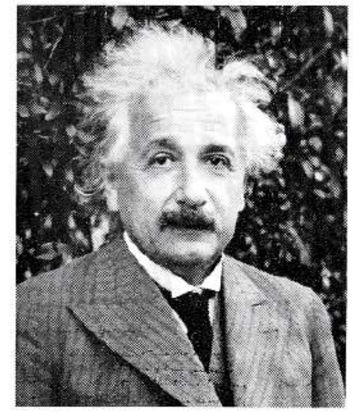
ऑल्बर्ट व
द्वितीय पत्नी एल्सा



ऑल्बर्ट व एल्सा
अमेरिकेतील
ग्रँड कॅनिअनमध्ये



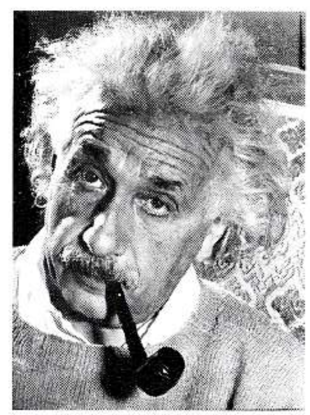
प्रख्यात ब्रिटिश शिल्पकार
जेकब एप्स्टाइनने घडवलेले शिल्प,
फिट्सविल्यम हाउस, केंब्रिज, इंग्लंड



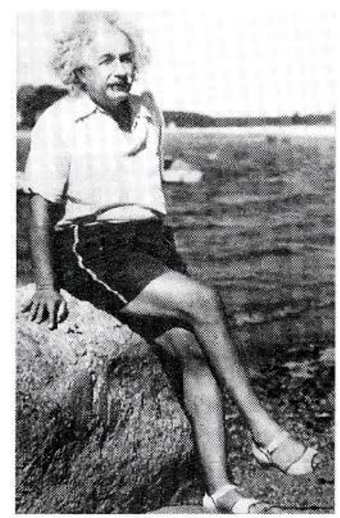
प्रौढपणीचे प्रकाशचित्र



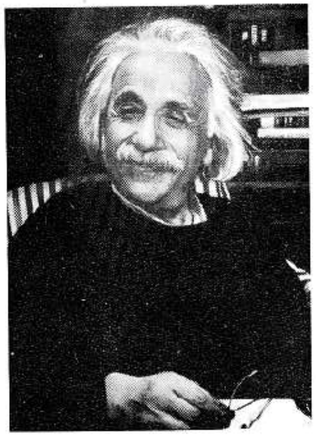
न्यूयॉर्कमधील रिव्हरसाइड चर्चचे पुनरुज्जीवन १९३० मध्ये करतेवेळी तेथील मुख्य धर्मोपदेशक डॉ. हॅरी फॉसडिक याने परंपरेच्या विरुद्ध जाऊन, पौराणिक देवदूत किंवा संत न समजल्या जाणाऱ्या सुप्रसिद्ध ऐतिहासिक व्यक्तींचीसुद्धा भित्तिशिल्पे करायचे ठरवले. मिल्टन, हेगेल, डार्विन, पास्चर इत्यादी निदान जन्माने ख्रिस्ती. ख्रिस्ती नसलेला व त्यावेळी जिवंत असलेला आइन्स्टाइन एकटाच. ते पाहिल्यावर आइन्स्टाइनने फॉसडिकपाशी उद्‌गार काढले, "ज्यू लोक मला जिवंतपणी ज्यू संत बनवण्याच्या प्रयत्नात आहेतच. परंतु मी प्रॉटेस्टंट संत झालो, हा सापेक्षतावादासारखाच चमत्कार आहे!"
(प्रकाशचित्र : लेखक)



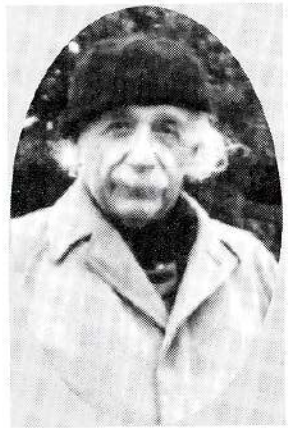
आइन्स्टाइनच्या ओठांतील
(पुष्कळ परिचितांनी आठवणींत
लिहिल्याप्रमाणे) क्वचित् पेटलेला
असणारा पाइप



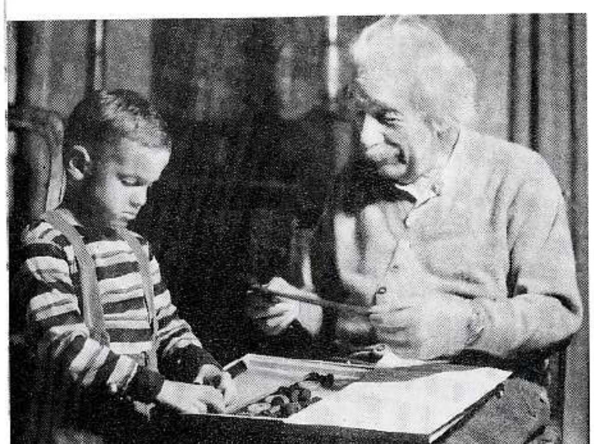
समुद्रकाठी खडकावर बसलेला आइन्स्टाइन



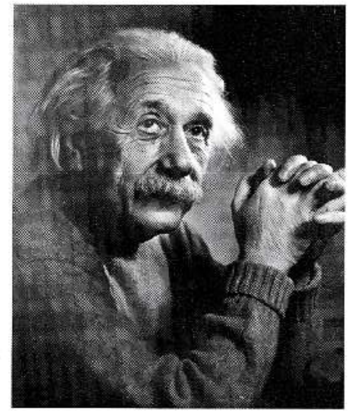
आइन्स्टाइनचे सुविख्यात स्मित



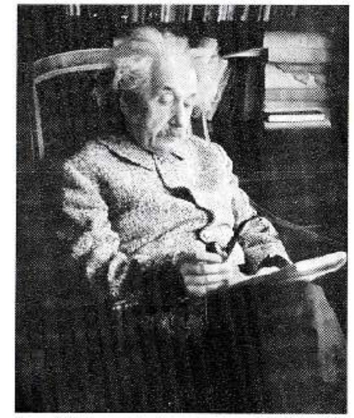
हिवाळ्यात टोपी घातलेला
आइन्स्टाइन



एका लहान मुलासह *लेगो*
खेळताना आइन्स्टाइन



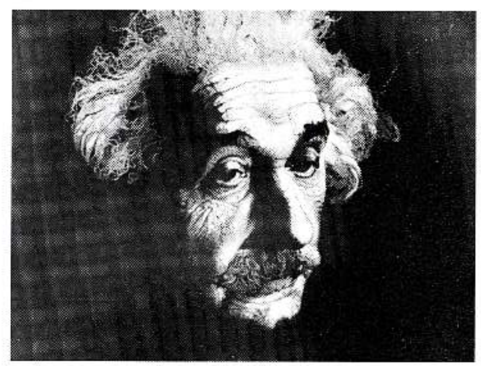
सर्वत्र आढळणारे आइन्स्टाइनचे
युसुफ कार्शने काढलेले प्रकाशचित्र



अभ्यास करत असताना आइन्स्टाइन



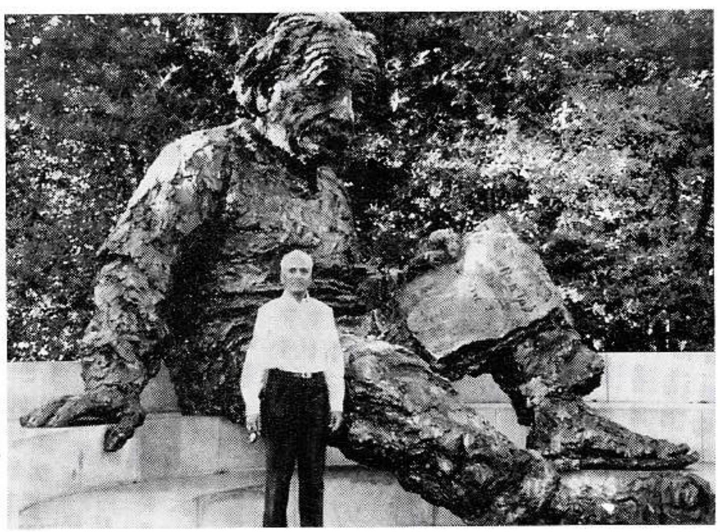
प्रिंस्टन विद्यापीठातील आइन्स्टाइनची
पुनर्रचित अभ्यासिका



आइन्स्टाइन
जन्मशताब्दीनिमित्त
जेम्स आर्थर या कलाकाराने
काढलेले शिलाचित्र



पारंपरिक रशियन कलाकारीत 'मात्रिओश्का' म्हणजे एकात एक बसणाऱ्या लाकडी बाहुल्या प्रसिद्ध आहेत. बहुधा पौराणिक संत, परीकथांतील पात्रे असे विषय असतात. आइन्स्टाइन हा अपवाद आहे!



आइन्स्टाइन जन्मशताब्दीनिमित्त १९७९ या वर्षी रॉबर्ट बर्क्सने घडविलेले शिल्प व अमेरिकन विज्ञान प्रबोधिनीचे प्रांगण, वॉशिंग्टन डी. सी. शेजारी लेखक. (प्रकाशचित्र : गौतम पारसनीस)

: १ :

दैनंदिन व्यवहारातील सापेक्षता

१.१ दिशा

"दिशा म्हणजे काय?" या प्रश्नाचे उत्तर सहसा "एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी जाण्यासाठी जे सांगावे लागते, त्याला म्हणायचे दिशा", असे मिळते. "दिशा किती आहेत?" याचे उत्तर प्राथमिक शाळेत शिकल्याप्रमाणे "आठ, म्हणजे पूर्व, पश्चिम, दक्षिण, उत्तर, ईशान्य, वायव्य, नैऋत्य, आग्नेय", असे मिळते. या संज्ञांना सूर्य उगविण्याच्या अपेक्षेने अर्थ आहे, असा आपल्याला आभास झालेला असला, तरी वर्षभरात सूर्य पूर्वेपासून उत्तरेला व दक्षिणेला जात असल्यामुळे वस्तुत: त्यांना एकमात्र अर्थ नाही. २१ मार्च व २१ सप्टेंबर या दिवशी सूर्य उगवतो, ती वास्तविक 'पूर्व'. केवळ त्या दिशेच्या अनुषंगाने इतर संज्ञांना वैज्ञानिक अर्थ आहे. काही वेळा लहान मुले "दिशा सहा, म्हणजे समोर, पाठीमागे, उजवीकडे, डावीकडे, वर, खाली", असे सांगतात. घरी किंवा शाळेत असे शिकविणे चूक आहे, कारण यातील पहिल्या चार शब्दांचा अर्थ आपण तोंड कसे वळविले आहे, यावर अवलंबून आहे. 'वर' व 'खाली' या शब्दांना मात्र गहन अर्थ आहे व तो पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाशी निगडित आहे. वर फेकलेला चेंडू खाली येणार, याचा आपले तोंड कुणीकडे आहे, याच्याशी संबंध नाही. वर व खाली या दिशा आपल्याला अशा अनुभवोत्तर अंत:प्रेरणेने समजलेल्या असल्या, तरी त्या आपण पृथ्वीवर उभे असलेल्या स्थानाच्या अपेक्षेने आहेत – म्हणजे त्या निर्विवाद नाहीत – हे आपल्या मनात सहसा सुस्पष्ट नसते. 'दिशा' ही पूर्णपरिचित व साधी वाटणारी संकल्पना 'सापेक्ष' आहे.

अशा प्रकारे 'अपेक्षा', 'अपेक्षेने', 'सापेक्ष' इत्यादी शब्द आपण बोलण्यात प्रत्यही वापरतो, तेव्हा 'सापेक्षतावाद' या शब्दाची भीती वाटण्याचे आपातत: कारण नाही.

यावरून असेही दिसते की, 'दिशा' या संज्ञेची व्याख्या स्पष्ट करायला पाहिजे. ''एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणी जायचे'' म्हणजे प्रथम ठिकाण अथवा स्थान याचीही व्याख्या करणे व त्यासाठी अल्पशी भूमिती शिकणे आवश्यक आहे.

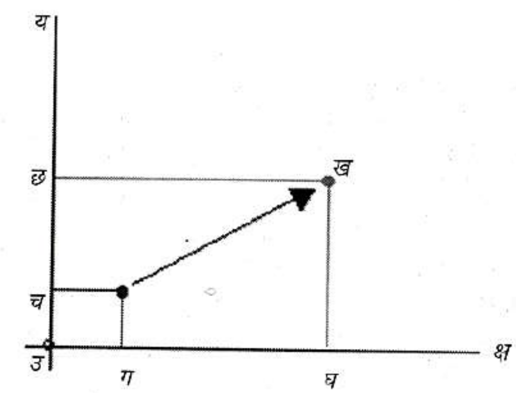
१.२ 'स्थान' व 'दिशा' या संज्ञांच्या व्याख्या व त्यांचे मोजमाप

क या बिंदूपासून *ख* या बिंदूकडे जाण्यासाठी ज्या *कख* रेषेवरून जायचे ती कशी पार करायची, हे सांगणे म्हणजे दिशानिर्देश (आकृती १.१). सभोवतालचे जग (म्हणजे 'अवकाश') एकमितीय – म्हणजे एकच दिशा असलेले – असेल, तर *उख*-*उक*= *कख* हे अंतर सांगणे पुरे होईल. कोठेही न वळता सरळ जाणाऱ्या अळीचे अथवा सरळ लोहमार्गाचे जग असे असते. कागदावर लिहिणाऱ्या लेखणीच्या टोकाच्या जगाप्रमाणे अवकाश द्विमितीय असला, (आकृती १.२) तर मुळात *उ* या बिंदूत एकमेकींना छेद देणाऱ्या व एकमेकींशी काटकोन करणाऱ्या *उक्ष* व *उय* या रेषा कल्पून त्यांच्या अनुषंगाने – म्हणजे सापेक्षतेने – *क*ची *उग* व *उच* ही अंतरे व *ख*ची *उघ* व *उछ* ही अंतरे दिली, तर *क* व *ख* या बिंदूंची स्थाने तसेच *क*पासून *ख*पर्यंत जाण्याचा मार्ग समजेल. *कख* ही दिशा आपोआप माहीत होईल. उगमस्थान व संबंधित दोन अक्ष कोणते घ्यावे, हे आपल्या सुविधेवर अवलंबून आहे.

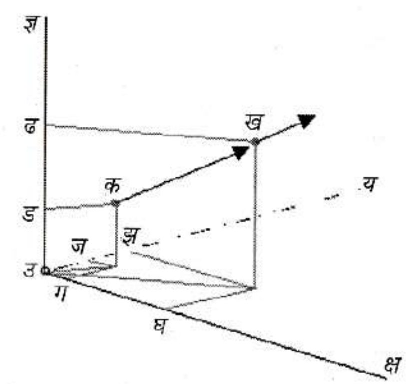
अर्थात आपल्या सभोवतालचे संपूर्ण जग त्याहीपुढे म्हणजे त्रिमितीय आहे. त्यामध्ये अंतरे व दिशा कशा सांगायच्या, हे आकृती १.३ वरून स्पष्ट होईल. एखाद्या *ख* या बिंदूचा निर्देश करायला उच्या व त्यातून निघणाऱ्या *उक्ष, उय, उज्ञ* या तीन अक्षांच्या अपेक्षेने *उघ, उछ, उढ* ही तीन अंतरे द्यायला पाहिजेत. त्यांना सहनिर्देशक (coordinates) ही संज्ञा आहे. आपल्या अवकाश-प्रणालीचा *उ* हा उगम-बिंदू आहे व अवकाशाच्या एक-, दोन- वा तीन-मितीप्रमाणे आपण निवडलेले एक, दोन वा तीन अक्ष आहेत. उगम-बिंदू व अक्ष आपण इच्छेनुसार निवडू शकतो. अशा अनंत प्रणाली (systems) असू शकतात व त्यामधून आपण कोणतीही निवडू शकतो. त्यात एखादी विशेष महत्त्वाची असते, असे नाही. वृक्षावर लपलेला कोकीळ कुठे आहे, हे स्पष्ट करायला आपल्या मित्राला सांगायला पाहिजे, ''आपण उभे आहोत, तेथून समोर तीन मीटर जा, उजवीकडे वळून साडेसहा मीटर जा म्हणजे त्या वृक्षाचा बुंधा येईल. तिथून पाच मीटर उंचीवर कोकीळ आहे.'' म्हणजे तीन अंतरे तथा सहनिर्देशक द्यायला पाहिजेत. *कख* या रेषेवरील, वा ती *ख*च्यापुढे वाढविल्यावर येणाऱ्या रेषेवरील इतर बिंदू घेतल्यास सहनिर्देशक बदलतील, परंतु दिशा तीच राहील. सहनिर्देशकांचे आपापसांतील प्रमाण दिशा ठरविते. याचा व्यत्यास हा की, दिशा ठरणे म्हणजेच सहनिर्देशकांचे आपापसातील प्रमाण ठरणे. तीनहून अधिक मिती असलेले अवकाश असू शकतील का, याचे उत्तर ''अशा अवकाशांचे गणित मांडता येते; परंतु विश्वात ते आहेत की नाही, हे ज्ञान



आकृती १.१ : एकमितीय अवकाश



आकृती १.२ : द्विमितीय अवकाश



आकृती १.३ : त्रिमितीय अवकाश

आपल्याला सांप्रत तरी नाही," हे आहे. चतुर्मिती अवकाश असेल, तर प्रत्येक बिंदूच्या निर्देशाला चार सहनिर्देशक द्यावे लागतील, इत्यादी.

१.३ संज्ञांचा अर्थ व त्यांचे निर्विवादत्व

आपण वर पाहिले की, उजवी व डावी दिशा यांना साधारणत: एकमात्र अर्थ नसतो. तथापि 'नदीचा उजवा काठ' या शब्दप्रयोगाला विवक्षित व निर्विवाद अर्थ आहे, कारण पाणी वाहत असलेली दिशा आपल्याला माहीत असते व तिच्या अपेक्षेने आपण उजवा व डावा हे शब्द वापरतो. एकदिश रहदारी असलेला मार्ग, टेकडीवर चढण्याची पायवाट, रंगमंच असलेले प्रेक्षागृह अशा संदर्भातही उजवा व डावा या संज्ञांना निर्विवाद अर्थ आहे. तसेच पाणी वाहण्याची वा रहदारी चालू असण्याची व मंचाकडे तोंड करण्याची दिशा निर्विवाद आहे. म्हणून समोर व पाठीमागे या संज्ञांचे अर्थसुद्धा या संदर्भात निर्विवाद आहेत. 'समुद्राचा उजवा काठ' अथवा 'पटांगणाची मागची बाजू' अशा शब्दप्रयोगांना काडीमात्र अर्थ नाही.

यापुढे जाऊन असा प्रश्न विचारता येईल की, प्रत्येक वाक्याला अर्थ असतो काय? "दुधाचा रंग पांढरा असतो", हे वाक्य भाषाशास्त्र व व्याकरणाच्या दृष्टीने योग्य आहे; एवढेच नाही, तर त्याला अर्थही आहे. परंतु "दुधाचा आकार पंचकोनी असतो," हे वाक्य भाषाशास्त्र व व्याकरणाच्या दृष्टीने सुयोग्य असले, तरी निरर्थक आहे. अर्थवाहक शब्द एकत्र आणून वाक्य रचले, तरी तशा प्रत्येक वाक्याला अर्थ असतोच, असे नाही. वैज्ञानिक वर्णनात, चर्चेत, विवादातच केवळ नाही तर जीवनातील साधारण व्यवहारातसुद्धा अर्थशून्य वा संदिग्ध शब्द, संज्ञा, वाक्ये व प्रतिपादन नसावे.

१.४ कालाची सापेक्षता

समोर बसलेल्या पत्नीला विचारले, "किती वाजले?", तर ती घड्याळ पाहून जी वेळ सांगेल, तीच वेळ आपल्या घड्याळात असणार. अमेरिकेतील कन्या वेगळे उत्तर देणार, ऑस्ट्रेलियातील मित्र आणखी वेगळे सांगणार. "आता दिवस आहे की रात्र?", असे विचारल्यावर अमेरिकेतील सहा वर्षांचा नातू उत्तरणार, "माझ्या इथे अंधार आहे, अण्णा, तुझ्याकडे उजेड." म्हणजे 'काल'सुद्धा आपण जिथे आहो, त्या स्थानाच्या सापेक्ष सांगायला लागतो. ही सापेक्षता खऱ्या अर्थाने सापेक्षता आहे, हे साधारणत: आपल्या जाणिवेत स्पष्ट नसते.

१.५ आकाराची सापेक्षता

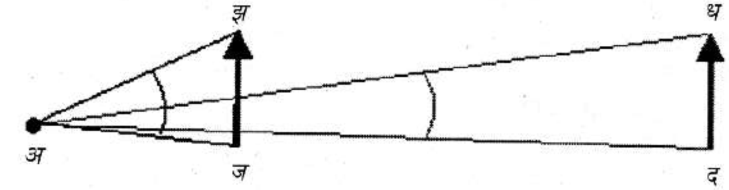
अनेक दशकांपूर्वी एम. एस. एम. रेल्वे असताना पुणे-सातारा लोहमार्गातील फुरसुंगी घाटात एक चमत्कारिक अनुभव येत असे. 'चमत्कारिक' आम्हां लहान मुलांना. लोहमार्ग एकच होता. घाटामध्ये वळणे अशी होती की, आम्ही बसलेल्या

गाडीतून उलट दिशेने जाणारी गाडी अनेक ठिकाणी दूर अशी दिसे. (अर्थात कोणत्याही वेळी दोहोंमध्ये एक तरी स्थानक होते, हे उघड आहे.) केव्हा ती दूरच्या टेकडीआड जाई, काही काळाने परत दिसे. ती आमच्या खेळण्यातील मेकॅनोच्या गाडीच्या आकाराची दिसे. पुढील स्थानकावर दोन गाड्या थांबत, तेव्हा अचंबा होई की, ती खेळण्यातील गाडी आपोआप एवढी मोठी कशी झाली? वडलांना विचारले, तेव्हा ते म्हणाले, "गाडी तीच आहे, परंतु आता आपण ती जवळून पाहत आहोत. त्या गाडीतील प्रवाशांना त्यावेळी आपली गाडीसुद्धा खेळण्यातीलच वाटली असणार व आता योग्य आकाराची दिसत असणार." आमचा विश्वास बसावा म्हणून त्यांनी आमच्या समक्ष त्या गाडीतील प्रवाशांना विचारले. हा 'चमत्कार' अंगवळणी पडायला पुष्कळ काळ लागला, असे नाही; परंतु केवळ अनुभवानेच तो अंगवळणी पडला. असाच अनुभव पर्वतराजी पाहत असताना येतो. दूरची शिखरे वास्तविक उंच असूनही जवळची शिखरे अधिक उंच दिसतात.

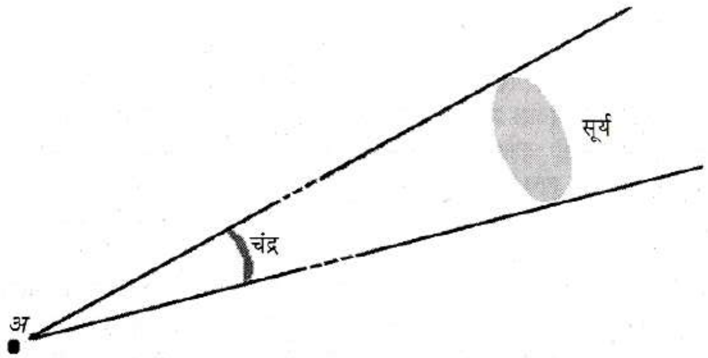
हातांनी डोळे झाकले, तर हातापेक्षा कितीतरी मोठे असलेले बाहेरील जग नाहीसे होते. हा चमत्कार असाच आहे. हात डोळ्यांपासून जसजसे दूर न्यावे, तसतसे अधिकाधिक जग दिसू लागते. तान्हेपणापासून हा अनुभव येत असल्यामुळे त्यात काही लपले आहे, हे आपल्या ध्यानात स्पष्टतेने येत मात्र नाही. नवजात अर्भकाला किती चमत्कारिक अनुभव येत असतील, हे यावरून समजते. केवळ दृष्टीसंदर्भात नाही, तर इतर इंद्रियांच्या संदर्भातही. अर्थात त्यातूनच अर्भक शिकते.

१.६ कोणीय आकार

अशा गोष्टीत काय लपले आहे? 'कोणीय आकार' ही समजण्याला अगदी सोपी असलेली संकल्पना. समजा, आपला डोळा आकृती २मध्ये *अ* या स्थानी आहे व आपण *जझ* या बाणाने निर्देशिलेल्या वस्तूकडे पाहत आहो. आपला डोळा असलेल्या



आकृती २ : वस्तूंचा कोणीय आकार



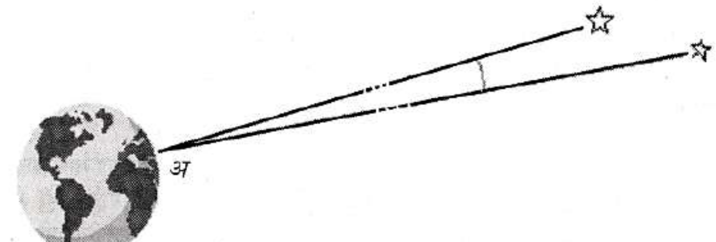
आकृती ३ : चंद्र-सूर्यांचे जवळजवळ एकसारखे कोणीय आकार
(प्रत्येक प्रसंगी आपण चंद्र-सूर्यांना एकत्र पाहतो, असा याचा अर्थ नाही.)

अ या स्थानाच्या अपेक्षेने या वस्तूच्या आकाराचे मान *जअझ* या कोणाने आपण सांगू शकतो व जर ही वस्तू दूर नेली, तर *दअध* या कोणाने. वस्तूचा प्रत्यक्ष आकार काही बदललेला नाही, परंतु तिचा कोणीय आकार लहान झाला आहे. अर्थात आपला डोळा असलेल्या *अ* या स्थानाच्या अपेक्षेने.

चंद्रापेक्षा सूर्य अनेक पटींनी प्रचंड असूनही पृथ्वीवरून पाहताना ते दोन्ही आपल्याला जवळजवळ सारख्या आकाराचे भासतात, हे रहस्य आकृती ३ वरून स्पष्ट होईल. दोहोंचा कोणीय आकार जवळजवळ सारखा असणे हा केवळ एक योगायोग आहे. कोणीय आकार अंशात, अंशाच्या एक साठांश भागात म्हणजे मिनिटात व मिनिटाच्या एक साठांश भागात म्हणजे सेकंदात मोजला जातो.

आपण पाहत असलेल्या एखाद्या दृश्याचे चित्र काढताना दृश्यातील निरनिराळ्या वस्तू प्रत्यक्ष आकारांच्या प्रमाणात रेखाटणे योग्य होणार नाही. आपण जिथे आहोत, त्या असारख्या स्थानाच्या अपेक्षेने त्या कोणीय आकारांत (किंवा कोणीय आकारांच्या प्रमाणांत) रेखाटणे योग्य होईल; कारण त्यामुळे कोणत्या वस्तू किती जवळ व कोणत्या किती दूर आहेत, याचे यथार्थदर्शन (perspective) मिळते. यामागे आपला पूर्वानुभवही असतो. चित्रकार या सर्व गोष्टी लक्षात ठेवून चित्र रेखाटतो.

"सिंहगडाकडे मी दहा अंशांच्या कोनाने पाहत आहे," या वाक्याला अर्थ नाही; कारण सिंहगड काही एक बिंदू नाही. "पुण्यातील माझ्या घरातून सिंहगडाचा कोणीय आकार अनुमानाने पावणेदोन अंश आहे," याला अर्थ आहे. पुणे ते सिंहगड हे सरळ दृश्य अंतर (मोटारीच्या मार्गाने नाही) माहीत असेल, तर या आकड्यावरून आपण



आकृती ४ : दोन ताऱ्यांतील कोणीय अंतर

गडाची उंची काढू शकतो किंवा उंची माहीत असेल, तर दृश्य अंतर काढू शकतो.

चंद्रसूर्य, ग्रह, तारे, नक्षत्रे, धूमकेतू इत्यादी अतिदूर असल्यामुळे त्यांच्या प्रत्यक्ष आकारापेक्षा आकृती ३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे पृथ्वीसापेक्ष कोणीय आकाराने त्यांचे मोजमाप करणे सोपे व साधेसुधे होते, हे कोणीय आकार या संकल्पनेचे महत्त्व आहे. पृथ्वीवरून दिसत असलेले दोन तारे एकमेकांपासून किती दूर आहेत, हे आपण कोणीय अंतरानेच सांगू शकतो (आकृती ४). तारे अतिदूर असल्यामुळे साधारणत: त्यांना बिंदू समजायला प्रत्यवाय नाही.

तारे पृथ्वीपासून प्रचंड अंतरावर असल्यामुळे त्यांची आपापसातील कोणीय अंतरे पृथ्वीवरील कोणत्याही स्थानाहून मोजली, तरी त्यांत फरक दिसणार नाही. (म्हणजे फरक पडेल, परंतु तो मोजता येणार नाही.) पृथ्वीची सूर्याभोवतीची प्रदक्षिणा लक्षात घेतली, तर थोडाफार फरक पडेल; तथापि तो सहसा क्षुल्लक असतो. परंतु व्याध ताऱ्यावर बसून निरनिराळी अंतरे मोजली, तर मात्र ती अनुक्रमे अगदी वेगळी भरतील. दूरची अंतरे जवळची असू शकतील, जवळची दूरची असू शकतील.

१.७ निरपेक्ष विरुद्ध सापेक्ष विवाद

'वर' व 'खाली' या संज्ञांच्या अर्थाचा इतिहास लक्षात घेण्यासारखा आहे. पोळी-भाकरीसारखी पृथ्वी सपाट आहे, अशी जेव्हा लोकांची कल्पना होती, तेव्हा तीवरील सगळ्या स्थानी 'वर' ही दिशा एकमात्र – म्हणजे निर्विवाद अथवा स्थाननिरपेक्ष – असणार असे लोकांना वाटे. पृथ्वी सपाट नसून गोल आहे, हे समजल्यावर ही

निरपेक्षता कोलमडून पडली व 'वर' ही दिशा १.१ मध्ये म्हटल्याप्रमाणे स्थानसापेक्ष आहे, हे त्यांनी मानले. गोलाकार पृथ्वीवरील प्रत्येक बिंदूची 'वर' दिशा वेगळी!

एखाद्या संकल्पनेची सापेक्षता मनामध्ये स्पष्ट झाली नसेल, तर तिच्यासंबंधी अवलोकन व विचार करण्याऐवजी त्या संकल्पनेला निरपेक्षता प्रदान करण्याकडे साधारण मानवी मनाचा ओढा असतो. पृथ्वी गोल आहे, या कल्पनेचे मध्ययुगीन विरोधक म्हणत, "मग पलीकडील लोक उलटे कसे चालू शकतील?" 'वर' या दिशेची निरपेक्षता कशीतरी ओढून ताणून टिकविण्याचा हा प्रयत्न केविलवाणा म्हणायला पाहिजे. 'वर आकाशात' काहीतरी पारलौकिक आहे व ते एकमात्र, निरपेक्ष आहे; ही भ्रामक कल्पना मनाच्या गाभ्यात कुठेतरी दडून बसली होती. अर्थात वैज्ञानिकांनी या दिशेची सापेक्षता सिद्ध केल्यावर हळूहळू लोकांनी पृथ्वीचा गोलाकार मानला. पलीकडील लोक अलीकडील लोकांच्या अपेक्षेने उलटे चालतात, हे जसे सत्य आहे, तसेच पलीकडील लोकांच्या अपेक्षेने अलीकडील लोक उलटे चालतात, हेही सत्यच आहे. पुण्यातील एखादा लहानसा विभाग घेतला, तर त्यातील सर्वांची 'वर' ही दिशा जवळजवळ एक आहे, असे समजायला प्रत्यवाय नाही; कारण पृथ्वीच्या एकूण पृष्ठभागाच्या मानाने असा विभाग पुष्कळ लहान असणार. संपूर्ण आशिया खंड घेतले, तर मात्र 'वर' ही दिशा एक आहे, असे मानता येणार नाही.

सारांश, वरील सर्व उदाहरणांवरून दिसते की, दैनंदिन व्यवहारातील अनेक संज्ञा सापेक्ष आहेत व अवलोकनाची संपूर्ण परिस्थिती लक्षात घेतली, तरच त्यांना अर्थ प्राप्त होतो. तथापि हे पुष्कळांना स्पष्ट झालेले नसते.

साधारणत: 'सापेक्षतावाद' या शब्दाचे नाते आइन्स्टाइनशी जोडले जाते. आता आपल्याला समजले आहे की, वास्तविक तसे होण्याचे कारण नाही. ऐतिहासिक दृष्टीने पाहिले तर हालचालीविषयीच्या ॲरिस्टॉटलच्या (चुकीच्या) व गॅलिलिओ-न्यूटन यांच्या (योग्य) प्रतिपादनाला त्यांचा त्यांचा सापेक्षतावाद संबोधायला पाहिजे. "सापेक्षतावाद म्हणजे आइन्स्टाइन," असे समीकरण जगभर जनमानसात रुजण्याचे कारण हे की, आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद सर्वसमावेशक आहे. तो कसा, हे समजण्यासाठी आता पुढे जाऊ.

❑❑

: २ :

भ्रमण, अवकाश, काल व त्यांची सापेक्षता

२.१ भ्रमण, वेग, प्रवेग

बाह्य जगाचे ज्ञान करून देणाऱ्या आपल्या अनेक इंद्रियांमध्ये सर्वांत महत्त्वाचे म्हणजे डोळे. एखाद्या स्थानी वस्तू आहे किंवा नाही, हे आपल्याला सर्वप्रथम डोळ्यांनी प्रतीत होते. ती स्थिर आहे की चल, हेही समजते. चल स्थिती म्हणजे हालचाल, चलन किंवा भ्रमण. वस्तू स्थिर असो किंवा चल असो; ती कोठे आहे, हे सांगण्यासाठी मागील प्रकरणातील आकृती १मधील एक, दोन वा तीन अक्ष-प्रणाली उपयोजिल्या पाहिजेत. वाहन एका सरळ रेषेत चालत असेल, तर एक अक्ष पुरे होईल. एखादी व्यक्ती सपाट भूमीवर वळणे घेत चालत असेल तर किंवा प्रक्षेपित चेंडूची कक्षा सांगायला, दोन अक्ष पाहिजेत. स्वच्छंद उडत असलेल्या कीटकाचे वा पक्ष्याचे तीन मिती-समावेशक भ्रमण असेल, तर तीन अक्ष लागतील. अक्षप्रणाली आपण आपल्या सुविधेप्रमाणे निवडू शकतो. एखाद्या कक्षामध्ये उडणाऱ्या माशीचे निरीक्षण करायला दोन सलग भिंती फरशीला मिळतात, तो कोपरा अक्षप्रणालीचे उगमस्थान घेऊन तेथून निघणाऱ्या तीन रेषा अक्ष म्हणून घेतले, तर वर्णन करणे सोपे होईल.

चल वस्तू केव्हा कोठे आहे, हे सांगण्यासाठी 'काल' ही संकल्पनासुद्धा पाहिजे. 'काला'ची स्पष्ट जाणीव आपल्याला अनुभवोत्तर होते. नवजात अर्भकाचे जैविक घड्याळ चालू असले, तरी अर्भकाच्या मेंदूत व मनात कालाची स्पष्ट जाणीव असणे संभवत नाही, निदान असते किंवा नाही, हे आपल्याला माहीत नाही. 'काल' वर्षे, दिवस, तास, मिनिटे, सेकंदे व सेकंदाच्या विभागांत मोजला जातो. असेच का? कारण आपले जीवन पृथ्वीच्या स्वत:भोवती व सूर्याभोवती फिरण्याशी निगडित आहे. काल एकदिश आहे. अवकाशात आपण पुढे-मागे जाऊ शकतो, तसे कालात जाऊ शकत

नाही. 'मागे' म्हणजे भूतकाळात जाऊ शकत नाही. भूतकाळातले प्रसंग आपण पुन्हा अनुभवू शकत नाही; पूर्वानुभव स्मृतीने अनुभवणे हा केवळ मनाचा खेळ आहे. म्हणूनच जगातील सर्व भाषांमध्ये 'कालप्रवाह' ही शब्दरचना आली आहे.

वस्तू गतिमान आहे व किती जलद भ्रमण करीत आहे, हे सांगण्यासाठी आपण ती "अमुक काळात अमुक अंतर जात आहे," असे म्हणतो, तिचा वेग "ताशी अमुक किलोमीटर आहे," असे सांगतो. याचा अर्थ वस्तू प्रत्यक्षात तासभर प्रवास करीत आहे, असा नाही. या क्षणी चालत असलेल्या गतीने तासभर चालली, तर ती अमुक अंतर जाईल, हा याचा अर्थ. लोणावळ्याहून द्रुतगती मार्गाने पुण्याला निघालेल्या साण्ट्रो-चालिकेला अर्ध्या तासाने पोलिसांनी अडविले. "तुम्ही ताशी ब्याण्णव किलोमीटर वेगाने जात आहात. वेगमर्यादा ताशी ऐंशी किलोमीटर आहे. अडीचशे रुपये दंड भरा." असे सांगितल्यावर ती म्हणाली, "अहो, पण मी तासभर गाडी चालविलीच कुठे!" कोणत्याही क्षणी वेग मोजायला वस्तू अमका काल चालायला पाहिजे असे नाही.

वेग सर्वकाल तोच असेल, तर हे ठीक आहे. बदलत असेल तर? त्यासाठी प्रवेग (acceleration) ही संकल्पना आहे. प्रवेगाचे एकक 'ताशी अमुक किलोमीटर प्रत्येक तासाला' हे आहे. "ओपेल कोर्साचा पिकअप मारुती एस्टीमपेक्षा अधिक आहे," या प्रतिपादनात एंजिन वाहनाला किती प्रवेग देऊ शकते, म्हणजे वेग किती भरभर वाढवू शकते, हे अभिप्रेत आहे. प्रवेग बदलत असणेसुद्धा संभवते; तथापि साधारण व्यवहारात वस्तूचे स्थान, तिचा वेग व तिचा प्रवेग यांमध्ये काम भागते. मोटरगाडी चालू असता ॲक्सेलरेटर घाईने दाबला, तर जो धक्का बसतो, तो प्रवेग बदलत असण्याचे प्रतीक होय.

२.२ अवकाशाची सापेक्षता

घरातील कक्षात उडणाऱ्या माशीच्या अवलोकनाकरता व अभ्यासाकरता एक कोपरा व तिथून निघणारे तीन अक्ष ही प्रणाली उपयोजिणे ठीक. परंतु कक्षाला अनेक कोपरे आहेत, तसेच कक्षात कोठेही प्रणालीचे उगमस्थान घेऊन तिथून निघणारे, एकमेकांशी काटकोन करणारे कोणतेही तीन अक्ष उपयोजिता येतील व ते तितकेच उपयुक्त असतील. विवेचन सोपे होण्याकरता एका सरळ रेषेत चाललेल्या वाहनाचे उदाहरण घेऊ या. समजा, डेक्कन क्वीन लोणावळ्याला पोहोचली आहे. "ती ६४ किलोमीटर दूर आहे," या प्रतिपादनाला अर्थ नाही. पुण्याहून ती ६४ किलोमीटर असली, तरी मुंबईहून १२८ किलोमीटर दूर आहे. त्यातून प्रवास करीत असलेली व्यक्ती म्हणेल, "डेक्कन क्वीन शून्य किलोमीटर दूर आहे." अवकाशाची सापेक्षता दाखविणारे पुढील उदाहरण अधिक बोलके आढळेल.

मुंबईहून दिल्लीला जाणाऱ्या पंजाब मेलला साधारणपणे वीस तास लागतात.

त्यातील दोन प्रवासी मित्रांनी ठरविले आहे की, प्रति चार-पाच तासांनी गाडीत एकाच ठिकाणी भेटायचे व मुंबईला राहणाऱ्या आपापल्या पत्नीला पत्रे लिहायची व लगेच येणाऱ्या स्थानकावर टाकायची. अशा रीतीने त्यांनी चार-पाच पत्रे टाकली. ते दोघे म्हणणार, "आम्ही एकाच ठिकाणाहून पत्रे लिहिली." दोघी पत्नी म्हणणार, "मुळीच नाही. तुमची पत्रे नाशिक, इटारसी, भोपाळ, झांशी, आग्रा अशा निरनिराळ्या ठिकाणांहून आली." कोणाचे म्हणणे सत्य आहे? आपापल्या परीने दोन्ही प्रतिपादने सत्य आहेत. यात सापेक्षता आलीच. 'एका ठिकाणाहून' याला निर्विवाद अर्थ नाही. कोणाच्या परीने, म्हणजे अपेक्षेने, याचा निर्देश करायला पाहिजे.

खग्रास सूर्यग्रहण पाहत असणाऱ्या व्यक्तीच्या दृष्टीने पृथ्वी, चंद्र व सूर्य एका रेषेत आहेत; परंतु ग्रहण दिसत नसलेल्या ठिकाणची व्यक्ती ते मानणार नाही. यामध्ये अवकाशाची हीच सापेक्षता आहे.

२.३ चल वस्तूच्या कक्षेची सापेक्षता

अवकाशाच्या सापेक्षतेवरून हेही ओघाने येते की, वस्तू ज्या मार्गाने जात आहे, तो मार्ग, ती कक्षा, सापेक्ष आहे. चालत्या वाहनातून खिडकीबाहेर सरळ खाली सोडलेला चेंडू सरळच बाहेरील भूमीवर पडलेला दिसतो. कोणाला? टाकणाऱ्याला. बाहेरील भूमीवर उभे असलेल्याला त्याची कक्षा वक्ररेखाकार – 'अन्वस्तीय' (parabolic) – दिसणार. बाहेर दुचाकीवरून किंवा मोटरगाडीतून जात असलेल्याला वक्ररेखाकार, परंतु जरा वेगळी दिसणार. म्हणजे कक्षाही सापेक्षच!

मग प्रश्न उद्भवतो की, वस्तूचे स्थान, कक्षा इत्यादी कोणत्या स्थानाहून (म्हणजे प्रातिनिधिक बिंदूवरून) पाहाव्या, की कोणत्याही? केवळ कक्षेचे अवलोकन करायचे असेल, तर सुविधा हा आपला निकष असणार. ती वस्तू विशिष्ट परिस्थितीत पुढे कशी, कोणत्या कक्षेत, कोणत्या वेगाने, कोणत्या प्रवेगाने जाणार, इत्यादींचे ज्ञानसुद्धा आपल्याला मिळवायचे असेल, तर असे आढळते की, सर्व स्थाने एकसारखी नसतात. हे आपण यथाकाल पाहणार आहोत.

सारांश, कोणत्या स्थानाच्या अपेक्षेने आपण अवलोकन करावे, हे आपल्या उद्दिष्टावर अवलंबून आहे.

२.४ स्थिरता म्हणजे काय व जड अक्षप्रणाली

(विशेष टिप्पणी : 'जड' यातील 'ज'चा उच्चार 'जग' किंवा 'जनता' या शब्दांतील 'ज'प्रमाणे करायचा, 'जरा' या शब्दातील 'ज'प्रमाणे नाही.)

वस्तूंची हालचाल व त्यांचे भ्रमण त्यांच्यावर बाहेरून पडत असलेल्या बलावर अवलंबून असते, हे आपण प्रत्यही अनुभवतो. वाचन करण्याचे पुस्तक हाताने पुढे ओढल्याशिवाय आपल्याकडे येत नाही, चेंडू फेकल्याशिवाय दूर जात नाही, दुचाकीचे

पेडल् मारल्याशिवाय ती व त्यावर बसलेले आपण हलत नाही, इत्यादी चमत्कार आपल्या संपूर्ण परिचयाचे असतात. तेव्हा असे म्हणायला प्रत्यवाय नाही की, वस्तूवर बाह्य बल नसेल, तर ती स्थिर असते. कोणतीही वस्तू आपल्या जागेवरून स्वत: होऊन कधीही हलत नाही. हलून भ्रमण करायला लागण्यासाठी तिला बलाची आवश्यकता का असते? कारण वस्तूंना नैसर्गिक जडत्व असते. हे प्रतिपादन गॅलिलिओ-न्यूटनचा भ्रमणाचा नियम अथवा न्यूटनचा भ्रमणाचा पहिला नियम असे संबोधिले जाते. 'भ्रमणाचा' असे संबोधण्यापेक्षा 'जडत्वा'चा संबोधिणे अधिक अर्थपूर्ण आहे. वस्तू भ्रमण करायला लागणे किंवा न लागणे यापलीकडे या नियमात आणखी काहीतरी गहन लपलेले आहे.

एखाद्या वस्तूवर बाह्य बल नसण्याकरिता काय करावे? त्या वस्तूवर काही ना काही परिणाम घडवून आणणाऱ्या, आपल्याला माहीत असलेल्या इतर सर्व वस्तूंपासून तिला इतके दूर न्यायचे की, असे परिणाम होऊच नये. त्या अतिदूर स्थानी आणखी अशा वस्तू न्यायच्या की, ज्यांचे पहिल्या वस्तूवर वा एकमेकींवर बल नसेल. अशा प्रकारे आपण अतिदूर स्थानी एक प्रयोगशाळाच रचू शकू. अर्थात ती केवळ आपल्या मनाचा खेळ असणार, तथापि अशी योजना मनात आखायला प्रत्यवाय नाही. तात्त्विक विवेचनात असे मनाचे खेळ आपण खेळू शकतो. प्रयोगशाळेच्या बाहेरील अनेकविध वस्तूंच्या अनेकविध भ्रमणाचे अवलोकन व अभ्यास आपण करू शकू. ही आपली प्रयोगशाळा एक विशेष अक्षप्रणाली झाली. तिच्यावर कसलेच बाह्य बल नसल्यामुळे ती स्थिर असणारच की! तिला 'जड अक्षप्रणाली' म्हणण्याचा प्रघात आहे.

आकाशात दिसणारे तारे इतके दूर आहेत की, त्यांच्यावर कसलेच बल असणे संभवत नाही व असले, तरी ते नगण्य समजायला प्रत्यवाय नाही. तेव्हा ते तारे सर्व स्थिर आहेत, असे समजू. एका दिवसात सर्व तारे पृथ्वीभोवती आपापल्या प्रचंड त्रिज्येच्या वर्तुळांत फिरतात, म्हणजे त्यांचे भ्रमण पृथ्वीच्या अपेक्षेने संथ, सरळ नाही. म्हणजे त्यांच्यावर काही ना काही बल आहे, म्हणजे ते स्थिर मानता येत नाहीत. दोन-तीन वाक्यांपूर्वी आपण "ते स्थिर आहेत," असे म्हटले; आता म्हणत आहोत, "ते स्थिर नाहीत!" ही विसंगती एकाच गोष्टीने दूर होईल. ती गोष्ट म्हणजे स्थिरतेचा, एकमात्रतेचा, निर्विवादत्वाचा अट्टहास सोडून द्यायचा. एखादी वस्तू – समजा एखादा तारा – कशाच्या अपेक्षेने स्थिर आहे व कशाच्या अपेक्षेने नाही, एवढे सांगणेच आपल्या हाती आहे.

दुसऱ्या कोणा अशा प्रकारच्या प्रयोगशाळेमध्ये भ्रमणाचा अभ्यास केल्यावर भ्रमणाचे वेगळे नियम आढळले, तर ती दुसरी प्रयोगशाळा आपल्या जड प्रयोगशाळेच्या अपेक्षेने स्थिर नाही, असे म्हणावेच लागेल. ती चल असली, तरी तिला संथ सरळ वेग आहे की तिचा वेग बदलत आहे, म्हणजे तिला प्रवेग आहे, हे कसे ठरवायचे?

२.५ जड अक्षप्रणाली (अनेकवचन!)

हे अनुभवानेच (म्हणजे प्रयोगांनी) ठरविता येईल. असा अनुभव आपल्या दैनंदिन परिचयाचा आहे. आपण स्थिर राहून सरळ वर फेकलेला चेंडू आपल्या हातातच पडतो. समजा, हा प्रयोग आपण अगदी सरळ लोहमार्गावरून ताशी चाळीस किलोमीटर या संथ वेगाने चाललेल्या डेक्कन क्वीनमध्ये केला तर काय आढळेल? बहुतेकांनी तद्सदृश काहीतरी केलेले असते. चेंडू हातातच पडतो! प्रत्यक्षात अनेक कारणांनी गाडीला लहान लहान धक्के बसत असतात, गाडी जराशी डुलत असते, इत्यादी. तरीसुद्धा प्रयोग करताना अशा क्षुल्लक गोष्टींना मनातून फाटा दिला, तर चेंडू हातात पडतो, असेच आढळेल – जसा घरामध्ये स्थिर उभे राहून केलेल्या प्रयोगात पडतो. पुण्याहून निघालेली गाडी संगम पुलावर न बदलत्या कमी वेगाने संथ चाललेली असता हा प्रयोग चांगला होतो. यावर विश्वास बसायला चेंडूचे आणखी प्रयोग करता येतील. गाडी पुणे स्थानकाहून निघताना तिचा वेग वाढत असतो, म्हणजे तिला प्रवेग असतो. त्यावेळी चेंडू वर फेकला, तर कमी वेगामुळे गाडीला धक्के कमी बसत असून व ती खूपच कमी डुलत असूनही तो आपल्या हातात पडणार नाही. करून पाहा ना! लोणावळ्याला गाडी पोहोचताना वेग कमी होत असतो, त्यावेळीही (म्हणजे उणे प्रवेग असताना) चेंडू हातात पडणार नाही.

आणखी एक प्रयोग करा. गाडी न बदलत्या संथ वेगाने वळत असेल, तेव्हासुद्धा चेंडू हातात न येता भलतीकडे पडेल. वाहनाच्या संदर्भात प्रवेगाची दोन रूपे आहेत. एक रूप म्हणजे वाहन सरळ जात असताना वेग बदलणे. दुसरे रूप म्हणजे वेग संथ असताना वाहन वळत असणे. चेंडू हातात न पडणे यावरून गाडीचा वेग किंवा तिच्या भ्रमणाची दिशा बदलत आहे, हे कळेल. आपल्याजवळ चेंडू असो वा नसो, वेग वाढणे वा गाडी वळत असणे हेही आपल्याला कळतेच. उदाहरणार्थ, गाडी डावीकडे वळत असताना आपण आसनावर उजवीकडे ढकलले जातो (तेसुद्धा आपल्या जडत्वामुळे). वळत वळत, डुलत डुलत वेगाने धावणाऱ्या गाड्यांमध्ये होणारी वेटर्सची तारांबळ आपण पाहतोच.

चेंडू वापरून केलेल्या प्रयोगांचा आपण निष्कर्ष काढू या की, वस्तूंच्या भ्रमणाचे नियम स्थिर स्थानाच्या अक्षप्रणालीत असतात, तसेच भ्रमण करीत असलेल्या परंतु प्रवेग नसलेल्या वाहनाच्या अक्षप्रणालीत असतात. चल वाहनाचा संथ, सरळ वेग दुचाकीइतका कमी असो वा जेट विमानाइतका अधिक असो, प्रवेग मात्र नसावा. (यापुढे आपण 'वाहन' हा शब्द प्रत्येक वेळी वापरायचे प्रयोजन नाही, 'अक्षप्रणाली' ही संज्ञा चालेल.) जर असे आहे, तर तथाकथित 'स्थिर' अक्षप्रणालीला स्थिर म्हणवून घेण्याचा अधिकार नाही! जड असलेल्या एका अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने संथ वेगाने सरळ चाललेल्या दुसऱ्या कोणत्याही अक्षप्रणालीला 'जड' असेच संबोधिले पाहिजे.

निरनिराळ्या अक्षप्रणालींचे संथ वेग अलग अलग असतील, ताशी शून्य ते ताशी

अनंत किलोमीटर! तात्पर्य, जड अक्षप्रणालींची संख्या शब्दश: अनंत आहे. त्यांतील कोणतीही निवडावी. हे प्रतिपादन कितीही विचित्र वाटले, तरी सत्य आहे. गॅलिलिओ व त्याच्या समकालीन वैज्ञानिकांनी जेव्हा निष्कर्ष काढला की, पृथ्वीच काय, खगोलातील कोणतीही एकमात्र वस्तू स्थिर आहे, असे म्हणण्याला आधार नाही, तेव्हा धर्ममार्तंडांना ते मान्य होईना! गॅलिलिओला तुरुंगात टाकले व ब्रूनोला स्तंभाला बांधून जिवंतपणी जाळून टाकले.

२.६ 'स्थिरता' या संकल्पनेला अर्थ आहे की नाही?

तेव्हा आधी काढलेल्या स्थिरता या संकल्पनेची समीक्षा करायला पाहिजे. अशा सततच्या समीक्षेमुळे विज्ञानाची प्रगती सतत चालू असते. एकदा काढलेली संकल्पना युगानुयुगे तशीच राहिली पाहिजे, असे विज्ञान मानत नाही. प्रथम वाटले की, 'स्थैर्य' या शब्दाला विशेष अर्थ आहे. अधिक अवलोकन व अभ्यास करून "अर्थ नाही," असा निष्कर्ष आपण काढला. आता काय?

हे सगळे सांगितल्यावर एका बारा-चौदा वर्षे वयाच्या शाळकरी मुलाने विचारले, "पण जड अक्षप्रणालींना एवढे महत्त्व कशाकरता द्यायचे?" उत्तर हे की, एका जडप्रणालीतील हालचालींचे, भ्रमणाचे व इतर नैसर्गिक चमत्कारांचे सिद्धांत व नियम माहीत असतील, तर तिच्या अपेक्षेने संथ, सरळ प्रवास करीत असलेल्या कोणत्याही अक्षप्रणालीत ते तसेच आहेत, हे समजते. या तत्त्वाला 'भ्रमणाची सापेक्षता' हे नाव दिले आहे.

स्थिर व स्थिरता यांना अर्थ आहे, परंतु केवळ सापेक्षतेने. एखादी वस्तू "स्थिर आहे," या प्रतिपादनाला अर्थ केव्हा येतो, तर कोणत्या दुसऱ्या वस्तूच्या (म्हणजे अक्षप्रणालीच्या) अपेक्षेने याचा निर्देश केल्यावरच.

२.७ वेगाची सापेक्षता

ओघाने आलेच की, "दादर व शिवाजी स्थानकांदरम्यान डेक्कन क्वीनचा वेग ताशी पस्तीस किलोमीटर असतो," याला काहीच अर्थ नाही; कारण कशाच्या अपेक्षेने हे निर्देशिलेले नाही. भायखळा स्थानकाच्या प्लॅटफॉर्मवर उभ्या असलेल्या व्यक्तींच्या अपेक्षेने असेल. पलीकडील लोहमार्गावर ताशी वीस किलोमीटर वेगाने शिवाजी स्थानकाकडे धावत असलेल्या लोकलमधील व्यक्तींच्या अपेक्षेने डेक्कन क्वीनचा वेग केवळ ताशी पंधरा किलोमीटर आहे. शेजारच्या उलट दिशेच्या लोहमार्गावर ताशी पंचवीस किलोमीटर वेगाने धावत असणाऱ्या लोकलमधील व्यक्ती म्हणणार, "डेक्कन क्वीनचा वेग ताशी साठ किलोमीटर आहे." म्हणजे वेगसुद्धा सापेक्ष आहे. (या तिन्ही गाड्या समांतर सरळ मार्गावर आहेत, हे यात अभिप्रेत आहे. तशा नसल्या, तरी वेग सापेक्ष आहेच; परंतु आकडे वेगळे असतील.)

मध्येच डेक्कन क्वीनचा वेग वाढला, म्हणजे तिला प्रवेग आला, तर तो प्रवेग सर्वांच्या अपेक्षेने तितकाच ठरेल. अर्थात् प्रवेग या संकल्पनेला (या पुस्तकात या क्षणी तरी) निर्विवादत्व आहे.

आता आपण भ्रमणाची सापेक्षता हे तत्त्व शब्दांत मांडू या. "एका जडप्रणालीतील हालचालींचे, भ्रमणाचे व इतर नैसर्गिक चमत्कारांचे नियम तिच्या अपेक्षेने संथ, सरळ प्रवास करीत असलेल्या कोणत्याही दुसऱ्या अक्षप्रणालीत तसेच, तितकेच व त्याप्रमाणेच लागू पडतात."

२.८ आइन्स्टाइन

कोणी विचारेल, "सापेक्षता ही संकल्पना जर गॅलिलिओ-न्यूटनच्या काळापासून म्हणजे साडेतीनशे वर्षांहून अधिक काल आहे, तर आइन्स्टाइनने विशेष काय केले की, ज्यामुळे सापेक्षता म्हणजे आइन्स्टाइन असे समीकरण झाले आहे?" या प्रश्नाच्या उत्तरासाठी तर हे पुस्तक!

□□

: ३ :

प्रकाशभ्रमणाची सापेक्षता

३.१ प्रकाशाचा वेग

भ्रमणाची सापेक्षता हे तत्त्व आता आपल्या केवळ परिचयाचे झाले आहे, एवढेच नाही, तर त्यामध्ये मूलभूत तथ्य आहे, हेही अनेक प्रकारच्या अनुभवांवरून आपल्याला कळून चुकले आहे. तसेच जड अक्षप्रणाली अनंत आहेत, हे प्रतीत झाले आहे. जगात व विश्वात असे एक अस्तित्व आहे की, प्रथम दृष्टिक्षेपात वाटते की, हे तत्त्व त्याला लागू होत नाही. ते म्हणजे 'प्रकाश'. एक शतकभर वैज्ञानिकांनासुद्धा अचंबा वाटे की, इतरत्र पाय घट्ट रोवून बसलेले भ्रमण-सापेक्षता हे तत्त्व प्रकाशासंबंधांत तथ्यहीन कसे असेल? यासंबंधीच्या पुढील विवेचनाद्वारे विज्ञानाच्या पद्धतीशीही आपला परिचय होईल.

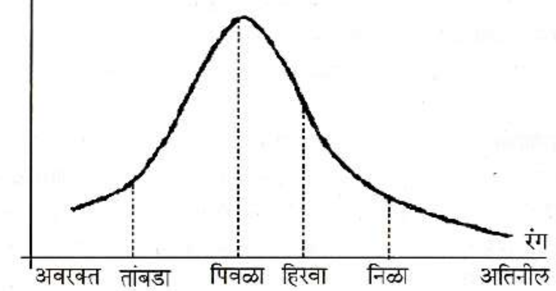
दीडएक सहस्रकाहून अधिक काळ ॲरिस्टॉटलच्या चुकीच्या कल्पना प्रचलित होत्या. प्रकाशाचा वेग अनंत आहे, ही त्यातील एक. दुसरी चुकीची कल्पना प्रकाशाच्या स्वरूपाविषयीची होती. आपल्या डोळ्यांतून अदृश्य किरण वस्तूंच्यावर पडतात व ते तेथून परत आले की, आपल्याला वस्तू दिसतात, असे त्याने प्रतिपादले होते. (प्रकाशाविषयी अशा प्रकारच्या चुकीच्या कल्पना काही उपनिषदांत आहेत.) तिसरी ही की, जड वस्तू हलक्या वस्तूंपेक्षा अधिक वेगाने खाली पडतात. अर्थात म्हणून काही ॲरिस्टॉटलला तुच्छ लेखण्याचे कारण नाही. तो प्रतिभावंत तत्त्वज्ञ व वैज्ञानिक होता. चुका सर्वांच्या कडून होतात. वास्तविक ऐतिहासिक दृष्टीने पाहता, असे विचार चुकीचे नसून विषय, सिद्धांत व विचारप्रणाली विकसित होत असताना राहिलेली विचारांतील अपूर्णता असते. ध्यानात आल्यावर ती काढून विचारप्रणाली परिपूर्ण होण्यासाठी यत्न करीत राहणे हे समाजाच्या पुढील पिढ्यातील विचारवंतांचे कर्तव्य आहे. ही प्रक्रिया

विशेषकरून विज्ञानात सतत चालू असते.

गॅलिलिओची गणना असामान्य प्रतिभावंतांत केली जाते. प्रकाशाचा वेग त्याला मोजता आला नाही, परंतु तो प्रचंड असला, तरी अनंत नाही, हे त्याने अगदी साध्या प्रयोगांनी सिद्ध केले. गॅलिलिओनंतर यथाकाल पुष्कळ वैज्ञानिकांनी निरनिराळ्या पद्धतींनी प्रकाशाचा वेग मोजला. निर्वात, निर्वस्तू अवकाशात त्याचे अचूक मूल्य 'सेकंदाला २,९९,७९२.४५८ किलोमीटर' हे आहे; परंतु 'सेकंदाला तीन लक्ष किलोमीटर' (३,००,००० किमी/सेकंद) हे लक्षात ठेवायला व चटचट आकडेमोड करायला सोपे आहे. हा प्रचंड वेग तसा कल्पनातीत आहे. अलीकडे चाचणी घेतलेल्या 'पृथ्वी' या भारतीय क्षेपणास्त्राचा वेग १३ किमी/सेकंद आहे. आपल्याला मनोमन वाटते की, सूर्याभोवती भ्रमण करताना पृथ्वीचा वेग प्रचंड असेल, परंतु तो केवळ ३० किमी/सेकंद आहे. ध्वनीचे प्रसरण निर्वात अवकाशात होऊ शकत नाही. त्यासाठी जड माध्यम पाहिजेच. ध्वनीचा हवेतील वेग ०.३३ किमी/सेकंद आहे.

३.२ प्रकाशाचे ढोबळ स्वरूप

सूर्याकडून आपल्याला प्रकाश येतो, म्हणजे काय येते? "एक प्रकारच्या विद्युत्चुंबकीय लहरी किंवा तरंग येतात." या प्रतिपादनाच्या बारकाव्यात जायची येथे आवश्यकता नाही. एवढेच लक्षात ठेवू की, विद्यालय-महाविद्यालयांत शिकवितात तसे विद्युत-चमत्कार व चुंबकीय चमत्कार वेगळे नाहीत; तर त्यांचे एकमेकांशी मूलभूत व अतूट नाते आहे. दूरवाणी, दूरचित्रवाणी, औष्णिक, अवरक्त, आपल्या डोळ्यांना जाणविणारा तांबडा-ते-जांभळा प्रकाश, अतिनील, क्ष-, कर्करोगाच्या उपचाराकरिता वापरतात ते गॅमा किरण इत्यादी सर्व तरंग विद्युच्चुंबकीय आहेत. सूर्यप्रकाशात यातील अनेक तरंग



आकृती ५ : सूर्यप्रकाशातील रंगांचे साधारण प्रमाण

असले, तरी आपण अधिकतर प्रकाशाचा संदर्भ देत असतो; कारण त्याची संवेदना आपल्या डोळ्यांना जाणवते.

सूर्याकडून येणाऱ्या प्रकाशात एकच रंग नसतो, हे प्राथमिक शाळेतील मुलांनाही माहीत असते. "त्यात किती रंग असतात?" विचारले की, मूल उत्तर देणार, "इंद्रधनुष्याचे सात", 'तानापिहिनिपाजा' ही कारिका म्हणून दाखविणार व जन्मभर तेच डोक्यात ठेवणार! अशा अनेक चुकीच्या कल्पना-संकल्पना शिक्षक शिकवितात, पाठ्यपुस्तकांत हेच लिहिलेले, तेव्हा मुलांना दोष देता येत नाही. सूर्यप्रकाशात, इंद्रधनुष्यात, पेटविलेल्या काकड्याच्या प्रकाशात, दीपावलीतील पणतीच्या प्रकाशात, घरातील विजेच्या दिव्यांच्या प्रकाशात, सौदामिनीच्या प्रकाशात, इत्यादींतच काय, साध्या काजव्याच्या प्रकाशातसुद्धा शब्दश: अनेक नाही तर अनंत रंग आहेत. सूर्यप्रकाश (किंवा वरील यादीतील इतर गोष्टींचा प्रकाश) येतो म्हणजे अनंत रंगांची वेगवेगळी किरणे तीन लक्ष किमी/सेकंद या वेगाने येतात. आपल्या डोळ्यांना जाणवणाऱ्या या मिश्रणाला 'धवल वा पांढरा प्रकाश' संबोधण्याचा प्रघात ऐतिहासिक काळापासून आहे. निरनिराळ्या रंगांचे अस्तित्व व त्यांचे वेगवेगळे प्रमाण प्रकाश ज्या अणूंमधून येतो, त्यांच्यात चालू असलेल्या प्रक्रियांवर अवलंबून असते. धवल प्रकाशात अनंत रंग असतात, हे न्यूटनने लोलकाच्या साहाय्याने शोधले. सूर्यप्रकाशाचा सर्वसाधारण आलेख आकृती ५ मध्ये दिला आहे.

निरनिराळे रंग वेगळे करण्याच्या इतरही पद्धती आहेत. खरे असे आहे की, प्रकाशाला स्वत:चा असा रंग नसतो. विशिष्ट प्रकाश आपल्या डोळ्यांतील संवेदनाशील पटलावर किंवा प्रकाश मोजण्याच्या उपकरणावर पडला की, त्या त्या रंगाची जाणीव आपल्याला वा उपकरणाला होते.

प्रकाशाचा वेग प्रचंड आहे, हे एक वैशिष्ट्य. दुसरे म्हणजे निर्वात अवकाशात सर्व रंगांच्या प्रकाशाचा (किंबहुना सर्व विद्युच्चुंबकीय तरंगांचा) वेग एकच आहे, तीन लक्ष किमी/सेकंद. तिसरे हे की, तो वेग प्रकाशाच्या प्रवासाच्या दिशेवर अवलंबून नाही. तसेच पृथ्वीच्या ज्या वातावरणातून प्रकाश प्रवास करतो, ते इतके विरळ आहे की, प्रकाशावरील त्याच्या सूक्ष्म परिणामाकडे दुर्लक्ष केले, तरी चालते.

३.३ प्रकाशाचा वेग बदलता येईल का?

आपण प्लॅटफॉर्मवर उभे असताना समोरून संथ वेगाने सरळ जात असणाऱ्या डेक्कन क्वीनचा वेग बदलायचा असेल, तर आपण काय करू शकतो? प्लॅटफॉर्मवर आपण तिच्या दिशेने धावत सुटलो, तर आपल्या अपेक्षेने वेग थोडा का होईना, बदललाच की! शक्य असेल, तर स्थानकाच्या बाहेर जाऊन आपली मोटारगाडी लोहमार्गावर समांतर मार्गाने चालविली, तर सापेक्ष वेग पुष्कळ बदलेल. कशा ना कशा पद्धतीने वस्तूंचा वेग बदलता येतो. बंदुकीच्या गोळीचा वेग बदलायला आपण तिच्या

मार्गात रेती भरलेली लहानशी थैली (जिच्यातून गोळी पार जाऊ शकेल अशी) ठेवू शकतो. प्रकाशाचे काय?

पाणी, काच अशा पारदर्शक माध्यमांत प्रवेश केल्यावर प्रकाशाचा वेग कमी होतो, हे आपल्याला माहीत आहे. तेव्हा त्याच्या मार्गात काचेचा चपटासा तुकडा ठेवणे ही एक युक्ती आहे, असे वाटेल. परंतु प्रश्न हा नाही. निर्वात अवकाशात वेग कमी करता येईल की नाही, हा आहे. रेती भरलेली थैली पार करून बंदुकीची गोळी जेव्हा फिरून निर्वात अवकाशात किंवा हवेत येते, तेव्हा तिचा वेग कमी झालेला असतो. काचेचा तुकडा पार करून प्रकाश जेव्हा बाहेर येतो, तेव्हा त्याचा वेग निर्वात अवकाशात किंवा हवेत परत तीन लक्ष किमी/सेकंद हाच असतो. सर्व प्रकारच्या वस्तूंचा तसेच ध्वनी, पाण्याच्या पृष्ठभागावरील तरंग, इत्यादींचा वेग अधिक-उणा करता येतो, परंतु निर्वात अवकाशातील प्रकाशाचा वेग न अधिक करता येतो, न उणा. ही प्रकाशाची गंमत आहे. उत्पत्तिस्थानाचा वेग काय आहे, यावर प्रकाशाचा वेग अवलंबून नसतो.

प्रकाशाचे हे वैशिष्ट्य नीट ध्यानात यायला डेक्कन क्वीन, बंदुकीची गोळी, इत्यादीपेक्षा ध्वनीचे उदाहरण घेऊ या, कारण ध्वनीसुद्धा तरंगरूप आहे. ध्वनितरंग निर्माण होण्यासाठी व एका स्थानाकडून दुसऱ्या स्थानाकडे जाण्यासाठी जड माध्यमाची आवश्यकता असते. घनरूप असो, द्रवरूप असो, वायुरूप असो, माध्यम पाहिजे. निर्वात-निर्वस्तू अवकाशात ध्वनी असू शकत नाही. तेव्हा ध्वनितरंगांचे वेग, वारंवारता (frequency) यासारखे गुणधर्म त्या माध्यमाच्या गुणधर्मांवर अवलंबून असणार, हे स्पष्ट आहे. ध्वनितरंगांच्या उद्‌गमांच्या माध्यमाचे किंवा त्यांच्या वाटेत ठेवलेल्या माध्यमाचे गुणधर्म बदलून आपण ध्वनीचा वेग बदलू शकतो, तसा प्रकाशाचा बदलू शकत नाही.

प्रकाश निर्माण व्हायला अणू, व्यूहाणू, ऋणाणू इत्यादी जड कणांची किंवा त्यांपासून संरचना झालेल्या जड वस्तूंची व त्यांतील विशेष प्रक्रियांची आवश्यकता आहे, हे खरे; परंतु निर्माण झाल्यावर तो निर्वात अवकाशातूनसुद्धा प्रवास करतो. ही भिन्नता दाखविण्यासाठी एक साधा प्रयोग करता येतो. एका निर्वात होऊ शकणाऱ्या काचेच्या हंडीत पेटविलेला साधा विजेरीचा बल्ब व वाजणारी साधी विजेची घंटा ठेवून हंडीच्या आतील हवा काढून घेण्याचा पंप चालू करायचा. जसजशी हवा बाहेर निघेल, तसतसा घंटेचा आवाज कमी होईल व कालांतराने आवाज येणार नाही. परंतु बल्ब पेटलेलाच राहील.

इतर अनेक प्रकारच्या तरंगांच्या तुलनेने प्रकाशतरंगांचे वैशिष्ट्य हे की, ते निर्वात अवकाशातून प्रवास करतात व त्यांचा वेग बदलता येत नाही. हे सर्व प्रयोगांती सिद्ध झाले आहे.

३.४ भ्रमण-सापेक्षता तत्त्व व प्रकाशाचे भ्रमण यांच्यामध्ये भासणारी विसंगती व तिचे उकलन

एक काल्पनिक प्रयोग करू या. समजा २,४०,००० किमी/सेकंद या प्रचंड वेगाने चाललेल्या काल्पनिक रेलगाडीच्या एंजिनशेजारच्या पहिल्या डब्यामध्ये बसून आपण प्रवास करीत आहोत व कोणा एका क्षणी शेवटच्या डब्यातील दिवा पेटला. डेक्कन क्वीन व लोकल यांच्या उदाहरणाप्रमाणेच त्याच्या प्रकाशाच्या वेगाचे परिगणन करू. अर्थात प्रकाशवेगाची निरपेक्षता विसरायची नाही. गाडी स्थिर असताना ३,००,००० किमी/सेकंद या वेगाने आपल्याकडे येणारा त्या दिव्याचा प्रकाश आता ३,००,००० उणे २,४०,००० म्हणजे केवळ ६०,००० किमी/सेकंद या वेगाने आपल्या डब्यापर्यंत येईल. जणू काही प्रकाश व आपण एकमेकांपासून दूर जात आहोत. या परिस्थितीच्या उलट परिस्थिती असेल, म्हणजे आपण शेवटच्या डब्यात असू व दिवा पहिल्या डब्यात असेल, तर त्याचा प्रकाश ३,००,००० अधिक २,४०,००० म्हणजे ५,४०,००० किमी/सेकंद या वेगाने आपल्याकडे येईल. जणू काही पहिल्या डब्यातून निघालेला प्रकाश व शेवटच्या डब्यातील आपण एकमेकांकडे जात आहोत.

उलटसुलट दोन्ही प्रवासांसाठी प्रकाशाचा हवेतील वेग ३ लक्ष किमी/सेकंद हाच धरणे योग्य आहे; कारण प्रकाशाचा वेग त्याच्या उत्पत्तिस्थानाच्या वेगावर अवलंबून नसतो, हे आपण वरती प्रतिपादिले आहे. ते का, तर आधी सांगितल्याप्रमाणे प्रत्यक्ष (काल्पनिक नाही) प्रयोगांनी तसे आढळते. यावरून निष्कर्ष निघतो हा की, चालत्या गाडीतून प्रवास करीत असलेल्या आपल्या अपेक्षेने प्रकाशाचा वेग स्थिर गाडीतील तीन लक्ष किमी/सेकंद या वेगाहून वेगळा असतो व तो त्याच्या उलटसुलट प्रवासाच्या दिशेवर अवलंबून असतो. तेव्हा भ्रमण-सापेक्षता या पृष्ठ ३० वर प्रतिपादलेल्या तत्त्वाशी विसंगती आली, परंतु ते अवलोकनसिद्ध तत्त्व सोडून द्यायची तर आपली इच्छा नाही.

बंदुकीच्या गोळीची गोष्ट वेगळी आहे. गोळीसारख्या जड वस्तूंचा वेग त्यांच्या त्यांच्या त्या त्या वेळच्या उत्पत्तिस्थानांच्या वेगावरसुद्धा अवलंबून असतो. वरील प्रयोगात दिव्याऐवजी बंदूक घेतली, तर असे दिसते की, बंदूक आपल्यासारखी रेलगाडीतच आहे, तेव्हा तिचा वेग आपल्या सापेक्षतेने शून्य आहे. गाडी स्थानकावर स्थिर असताना बंदुकीतून गोळी झाडली काय किंवा गाडी भ्रमण करीत असताना झाडली काय, आपल्या सापेक्षतेने बंदूक या गोळीच्या उत्पत्तिस्थानाचा वेग आपल्या वेगाइतकाच आहे, त्यामुळे गोळीचा वेग दोन्ही परिस्थितीत एकच असेल.

सारांश, प्रकाशाची ही एक शोकांतिका दिसते. भ्रमणाची सापेक्षता हे तत्त्व सर्व जड वस्तूंना लागू होते, परंतु प्रकाशाला नाही, असे दिसते. तरीसुद्धा आपण या तत्त्वाचा त्याग करणार नाही, कारण ते प्रत्यक्ष प्रयोगाने सिद्ध झालेले आहे. तसेच ज्या प्रत्यक्ष प्रयोगाने सिद्ध झालेल्या तत्त्वामुळे ही शोकांतिका उद्‌भवली, त्या "प्रकाशाचा वेग त्याच्या उत्पत्तिस्थानाच्या वेगावर अवलंबून नसतो," या तत्त्वाचाही त्याग आपल्याला करायचा नाही. "मग काय करायचे?" या गहन संभ्रमात एका शतकापूर्वीचे वैज्ञानिक पडले, यात नवल नाही.

आपण म्हटले की, अवकाशात प्रकाश कोणत्याही दिशेने गेला, त्याच्या उगमाचा वेग कितीही असला, प्रकाश पाहणाऱ्या आपला वेग कितीही असला, तरी प्रकाशाचा वेग तीन लक्ष किमी/सेकंद इतकाच असतो. प्रकाशाचे विद्युच्चुंबकीय स्वरूप सिद्ध होण्यापूर्वीसुद्धा प्रकाशाचे तरंगरूप माहीत होते. सरोवरातील पाण्याच्या पृष्ठभागावरील तरंग, समुद्राच्या पाण्याचे अक्राळविक्राळ तरंग, ध्वनीचे तरंग... या सर्व प्रकारच्या तरंगांना त्यांचे त्यांचे काहीतरी दृश्य माध्यम आहे, हेही माहीत होते. तेव्हा प्रकाश तरंगांनासुद्धा माध्यम पाहिजेच, असे वैज्ञानिकांना वाटले.

३.५ अवकाशात भरून राहिलेले संवह (अर्थात 'ईथर') व या संकल्पनेचे वैफल्य

प्रकाश वाहून नेणाऱ्या या गृहीत माध्यमाला अनेक प्रकारचे गुणधर्म चिकटवायला लागले. या माध्यमाला वस्तुमान नाही, जडत्व नाही, ते अदृश्य आहे, संपूर्णतया लवचीक व प्रत्यास्थी (elastic) आहे, संपूर्णतया अविष्यंदी (म्हणजे अत्यंत 'पातळ' आहे, non-viscous), इत्यादी. त्यातून सर्व वस्तू विनासायास भ्रमतात, इतक्या की, त्याचे अस्तित्व त्यांना जाणवतच नाही. कोणत्याही प्रयोगाने ते सिद्ध होणार नाही. परंतु ते अस्तित्वात आहे मात्र! एकच गोष्ट ते करते. ती म्हणजे प्रकाशाला भ्रमणासाठी अवसर देणे. त्याला 'ईथर' तथा 'संवह' ही संज्ञा दिली होती. असे हे कल्पनातीत व शब्दातीत, चराचरात भरून राहिलेले माध्यम प्रतिपादण्याची आवश्यकता आपल्या वेदान्ती पूर्वजांना भासली असती, तर त्यांनी त्याला 'प्रकाशभ्रमणब्रह्म' संबोधिले असते. कदाचित 'ब्रह्म' यात ते अभिप्रेत असेलही!

संवहाच्या काल्पनिक रूपाने आपण प्रकाशाकरिता माध्यम मिळविले. म्हणून तीन लक्ष किमी/सेकंद या वेगाने प्रकाशाला वाहून नेणाऱ्या, चराचरात भरून राहिलेल्या संवहाला एकमात्र, निर्विवाद, सुस्थिर, जड अक्षप्रणाली समजले तर? आता आपल्याला पाहिजे असलेली एकमात्र स्थिरताही मिळाली, अशी आशा करायला काय प्रत्यवाय आहे? परंतु ही आशा फोल ठरते.

सांप्रत आपल्याला मनोमन जाणवते की, असले चमत्कारिक अस्तित्व निसर्गात असणे अनैसर्गिक व अस्वाभाविक आहे, ही संकल्पनाच कृत्रिम आहे. तथापि त्या काळातील वैज्ञानिकांची व तत्त्ववेत्त्यांची मानसिकता आपण ऐतिहासिक दृष्टीने जाणायला पाहिजे. प्रकाश हे सत्य आहे, त्याचे भ्रमण हे सत्य आहे, त्याचे तरंगस्वरूप हे सत्य आहे, तरंगांना माध्यमाची आवश्यकता असते, हा अनुभव आहे, प्रकाशासाठी कल्पित माध्यमाचा प्रकाशाव्यतिरिक्त इतर गोष्टींशी संबंध नसला पाहिजे, हेही सत्य आहे,

म्हणून संवहाची संकल्पना पाहिजेच. त्या काळचे वैज्ञानिक, तत्त्ववेत्ते, विचारवंत काही खुळे नव्हते.

एक उदाहरण घेऊ. आपल्या सभोवतीचे वातावरण आपल्याला दिसत नाही, ऐकू येत नाही, त्याची चव व गंध आपण अनुभवू शकत नाही, हलल्याविना स्पर्शाला ते जाणवत नाही; परंतु अनेक प्रकारच्या साध्या प्रयोगांनी त्याचे अस्तित्व आपण सिद्ध करू शकतो. तथापि कल्पित संवहाचे गुणधर्म वास्तविक प्रयोगांनी काढण्याचे सर्व यत्न फोल ठरले.

संवहाची स्थिरता गृहीत धरल्यामुळे आधीची गंभीर समस्या सुटत तर नाहीच, उलट ती आपल्या पुढे पुन्हा येते. कसे ते पहा. स्थिर रेलगाडीत प्रकाशाचा वेग मोजल्यास तो तीन लक्ष किमी/सेकंद भरणार. गाडी चालू झाल्यास, अनाद्यनंत स्थिर मानलेल्या – ज्याच्या अपेक्षेने प्रकाश कोणत्याही परिस्थितीत तीन लक्ष किमी/सेकंद वेगाने भ्रमण करतो त्या – संवहाच्या अपेक्षेने आता ती काहीतरी वेगाने जाणार. म्हणजे चालू झालेल्या गाडीत प्रकाशाचा वेग मोजल्यास तो गाडीच्या वेगावर अवलंबून राहणार. जडत्व नसलेले संवह असलेला गाडीतला अवकाश निर्वातच मानायला पाहिजे. म्हणजे "प्रकाशाचा वेग निर्वात अवकाशात केव्हाही बदलत नाही," या तत्त्वाला बाधा आली व समस्या तशीच राहिली. संवहाच्या संकल्पनेने काहीही साधले नाही.

उष्णता, तापमान, उष्णतेचे परिवहन (transport), तिच्यातील ऊर्जा, इत्यादींचे सत्यस्वरूपी ज्ञान होईपर्यंत 'फ्लॉजिस्टॉन' नावाचे अस्तित्व गृहीत धरण्यात येत असे. तितकेच अवास्तव हे संवह आहे. निसर्गाच्या रौद्रतेची भीती वाटून आदिवासी समाज निरनिराळ्या संकल्पना निर्मितो; उदाहरणार्थ, वेताळ, म्हसोबा, खंडोबा, अशांसारख्या. आपले वेदकालीन पूर्वज वैचारिक दृष्टीने पुष्कळ विकसित व विकासक्षम होते. त्यांनी निसर्गाचे व मानवी जीवनाचे अवलोकन करून वेद लिहिले. तथापि त्यांना नैसर्गिक चमत्कारांचे संपूर्ण वैज्ञानिक उकलन झाले नसल्याकारणाने त्यांनी विश्वनिर्माणाची देवता प्रजापिता, पर्जन्याची इंद्र,सागराची वरुण, मृत्यूची यम अशा निरनिराळ्या देवता कल्पिल्या. तसे हे आहे. मानवाची ही आदिम प्रवृत्ती सर्व क्षेत्रांत दिसते. विज्ञानविकासाच्या निरनिराळ्या अवस्थांमध्येही. भिन्नता ही की, विज्ञान अशा संकल्पनांचा यथाकाल त्याग करते. त्यामध्ये गूढ संवह ही एक.

काही वैज्ञानिकांना व तत्त्ववेत्त्यांना संवह ही संकल्पना टाकून द्यायची नव्हती. कारण मग तिच्या साहाय्याने कल्पिलेल्या निर्विवाद जड अक्षप्रणालीला तिलांजली द्यायला लागली असती. इतकी शतके रचलेला विज्ञानाचा एकूण आकृतिबंध ढासळला असता. अशा एखाद्या कल्पनेची आवश्यकता होती की, जी दोन्ही प्रयोगसिद्ध तत्त्वे सांभाळून घेऊ शकेल. त्यांना आपण भ्रमण-सापेक्षता व प्रकाश-वेग निरपेक्षता ही संक्षिप्त नावे देऊ. आइनष्टाइनच्या सापेक्षतावादामुळे विज्ञानाच्या आकृतिबंधाचा काही भाग ढासळला

खरा, परंतु ही दोन तत्त्वे न टाकून देता! तसेच त्यातून पुष्कळ नवे निघाले, ज्यामुळे मानवाची मानसिकता संपूर्ण बदलून गेली. हळूहळू ते आपल्याला प्रतीत होईलच.

३.६ वास्तविक प्रयोगांती काय सापडेल व सापडले?

या विसंगतीचे मूळ काय व कोठे आहे? भ्रमण-सापेक्षता व प्रकाश-वेग निरपेक्षता ही तत्त्वे प्रयोगसिद्ध खरी; परंतु त्यांचे एकमेकांतील नाते स्पष्ट जाणण्याकरिता आपण निरनिराळे काल्पनिक प्रयोग केले. या काल्पनिक प्रयोगांचे विश्लेषण करताना नेहमीच्या व्यवहारातील ज्या संकल्पना व त्यांचा जो अर्थ आपल्याला अभिप्रेत होता, त्यात तर चूक नाही की, ज्यामुळे विसंगती आपल्यापुढे उभी टाकली? ही विसंगती दूर करण्याकरता प्रयोगांनाच शरण जायला पाहिजे. केवळ कल्पना, संकल्पना व विचार यांनी रचलेली निसर्गाची प्रतिमा सत्य असणे संभवत नाही. वास्तविक अवलोकनाने व प्रयोगांनी ती प्रस्थापित व्हायला पाहिजे.

सर्व अवकाशाप्रमाणे रेलगाडीत भरून राहिलेल्या संवहातून प्रकाश काय वेगाने स्थिर व चल गाडीत प्रवास करतो, हे आतापर्यंतच्या 'विचार-पद्धती'ने न ठरवता वास्तविक प्रयोगांनी ठरविण्याचे पहिले पाऊल उचलू या. रेलगाडीपेक्षा पृथ्वी ही आपल्या अपेक्षेने स्थिर असलेली अक्षप्रणाली अधिक सोयीची आहे.

पृथ्वीवर केलेल्या प्रयोगांत ती स्थिर आहे, असे समजणे ठीक असले, तरी प्रत्यक्षात विश्वातल्या इतर कोणत्याही अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने ती स्थिर नाही. स्वत:भोवती फिरण्यामुळे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील कोणत्याही स्थानाचा वेग केवळ ०.५ किमी/सेकंद असतो. या क्षुल्लक वेगाकडे दुर्लक्ष करू या. सूर्याभोवतीच्या प्रदक्षिणेतील पृथ्वीचा ३० किमी/सेकंद हा वेग मात्र दुर्लक्ष करण्यासारखा नाही. पृथ्वी सरळ रेषेत संथ भ्रमण करीत नाही, हेही लक्षात घ्यायला पाहिजे.

प्रकाशाचा वेग मोजण्याच्या गॅलिलिओच्या प्रयोगात दिव्यापासून प्रकाश कोठे पोहोचला आहे, हे पाहण्याचे स्थान केवळ एक-दोन किलोमीटर दूर होते, म्हणूनच त्याला वेग मोजता आला नाही. आजच्या प्रौद्योगिकीमुळे ते त्याहून कितीतरी दूर असू शकते, समजा १००० किलोमीटर. हे अंतर पार करायला प्रकाशाला लागणाऱ्या सेकंदाच्या लहानशा अपूर्णांकात पृथ्वी केवळ एक किलोमीटर गेलेली असेल. एवढ्या लहान अंतरात तिचा सूर्याभोवतीचा वक्राकार भ्रमणमार्ग सरळ रेषेपासून किती वेगळा आहे, हे आजसुद्धा मोजता येत नाही. तेव्हा सांप्रतच्या प्रयोगात ती सरळ रेषेत संथ चालली आहे, असे मानायला प्रत्यवाय नाही. अशा प्रकारे आपण रेलगाडीच्या ठिकाणी पृथ्वी वापरत आहोत. अर्थात ज्या तथाकथित स्थिर अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने वेग इत्यादी मोजायचे, ती म्हणजे संवहच होय. रेलगाडीतील प्रयोगात जे सापडले, तेच पृथ्वीवर केलेल्या प्रयोगात सापडेल काय की दुसरे काही? पाहू या काय सापडते!

३.७ मायकेलसन प्रयोग (१८८८)

मायकेलसन या अमेरिकन प्रतिभावंत वैज्ञानिकाने हा प्रयोग प्रथमत: १८८१ मध्ये व तद्नंतर १८८८ मध्ये अत्यंत अचूकतेने केला. त्याची कल्पना अशी. काही कारणाने आपण मानलेल्या संवहातून पृथ्वी प्रवास करीत आहे, जशी एखादी होडी नदीच्या पाण्यावरून करते. नदीच्या पाण्याला काही वेग असणार. तीरावर बसलेले आपण प्रवाहाच्या दिशेने चाललेल्या होडीच्या वेगाचे आपल्या अपेक्षेने परिगणन करू शकतो. होडी एका काठावरून दुसऱ्या काठाकडे प्रवाहाला काटकोन करून प्रवास करीत असेल, तर तिचा परिगणित वेग वेगळा असणार.

मायकेलसनच्या प्रयोगात स्थिर तीराऐवजी स्थिर संवह, नदीच्या प्रवाहाऐवजी संवहातून पृथ्वी जात असताना उद्‌भवलेला प्रवाह व होडीऐवजी प्रकाश असे होते. पृथ्वीचा ३० किमी/सेकंद हा व प्रकाशाचा ३,००,००० किमी/सेकंद हे वेग धरून परिगणन केल्यावर होडीच्या दोन वेगांतील लहानशी भिन्नता मिळते. मायकेलसनच्या प्रयोगाची अचूकता इतकी होती की, याहून पुष्कळ कमी असलेली भिन्नता मोजता आली असती.

प्रयोगाचा निर्णय आला की, प्रकाश कोणत्याही दिशेने प्रवास करीत असला, तरी त्याचा वेग ३,००,००० किमी/सेकंद इतकाच आहे, भिन्नता नाही! याचा गर्भित अर्थ काय? की भ्रमण-सापेक्षता हे तत्त्व प्रकाशाच्या भ्रमणाला तंतोतंत लागू आहे. साहजिक आता आपल्याला समजले की, प्रकाशाच्या रेलगाडीतील भ्रमणाच्या बाबतीत (बंदुकीच्या गोळीसाठी केलेल्या परिगणनाच्या आधारे) केलेले परिगणन चुकीचे आहे. मायकेलसन प्रयोग रेलगाडीत केला असता, तर आपल्याला हाच निर्णय मिळाला असता. तसा करणे सोयीचे नाही, एवढेच.

३.८ जरा मागे वळून...

ज्या दोन प्रयोगसिद्ध तत्त्वांचा सुयोग्य मेळ घालण्याचा आपण प्रयत्न करीत आहोत, ती शब्दांत पुन्हा मांडू या. प्रयोगसिद्ध तत्त्वे व केवळ विचाराने मांडलेली तत्त्वे यांमधील अंतर जाणणे आवश्यक आहे. विचाराने तत्त्वे मांडण्याला आक्षेप घेण्याचे कारण नाही. त्यावर विश्वास केव्हा व किती ठेवायचा, हा प्रश्न आहे. ती तत्त्वे प्रयोगाने सिद्ध झाली तरच. प्रयोग, निष्कर्ष, विचारमंथन, पुन्हा प्रयोगाने पडताळा घेणे हे सर्व सुसंगत मांडून सिद्धांतप्रणालीची संरचना (structure) करणे ही विज्ञानाची पद्धती आहे. नवीन प्रयोगांनी वेगळे विचार मांडायला लागले, तर त्यासाठी विज्ञान सदा सज्ज असते.

भ्रमणाची सापेक्षता

एका जडप्रणालीतील हालचालीचे, भ्रमणाचे व इतर नैसर्गिक चमत्कारांचे नियम तिच्या अपेक्षेने संथ सरळ प्रवास करीत असलेल्या कोणत्याही दुसऱ्या अक्षप्रणालीत तसेच तितकेच व त्याप्रमाणेच लागू पडतात.

प्रकाशवेगाची निरपेक्षता

निर्वात अवकाशातील प्रकाशाचा वेग प्रकाशाच्या उगमस्थानाच्या व प्रकाशाचे अवलोकन करीत असलेल्या स्थानांच्या वेगावर तसेच प्रकाशाच्या प्रवासाच्या दिशेवर अवलंबून नसतो व तो बदलता येत नाही.

३.९ आगीतून फुफाट्यात!

निरनिराळ्या प्रतिवादांनी (arguments) या दोन तत्त्वांची सांगड घालण्याचा आपण करीत असलेला प्रयत्न प्रकाशाच्या बाबतीत विफल दिसत होता. एक तत्त्व तंतोतंत लागू केले, तर दुसरे लागू होईना. आपल्या प्रत्येक प्रतिवादात एक चूक ही होती की, आपण डेक्कन क्वीन, चेंडू अशा जड वस्तूंच्या वेगांना लागू पडणारे परिगणन प्रकाशाच्या वेगाला लागू करीत होतो. मायकेलसन प्रयोगाने दाखविले की, निर्वात अवकाशातील प्रकाशवेग कोणत्याही परिस्थितीत व कोणत्याही जड अक्षप्रणालीत निरपेक्ष, निर्विवाद, स्थिरांक असतो.

आपले प्रतिवाद चुकले होते, हे खरे; परंतु आताही ती विसंगती गेलेली नाही. दुसऱ्या प्रकरणात भ्रमणाच्या सापेक्षतेवरून आपण वेगाच्या सापेक्षतेचा निष्कर्ष काढला. निरनिराळ्या जड प्रणाली एकमेकांच्या सापेक्षतेने वेगवेगळ्या वेगांनी प्रवास करतात, त्यामुळे जड वस्तूंचे वेग वेगवेगळे असतात, हे जर खरे, तर प्रकाशाचा वेग सर्वांमध्ये निर्विवाद का असावा? ही शंकेची पाल सर्वांच्या मनात अजून चुकचुकत होती. परिणामी काही काळ वैज्ञानिक प्रकाशवेगाची निरपेक्षता हे तत्त्व झुगारून देण्याच्या विचारात होते, कारण भ्रमणाची सापेक्षता हे तत्त्व पृथ्वीवर व विश्वात असंख्य ठिकाणी सुयोग्य ठरले होते.

मायकेलसन प्रयोगाने साधले हे की, प्रकाशवेगाची निरपेक्षता हे तत्त्व झुगारणे चूक होईल, हा विश्वास मनात ठसला. ते निर्विवाद सत्य आहे. ते टाकून द्यायचे नाही, तर या दोन तत्त्वांची सांगड कशी घालायची, हा यक्षप्रश्न १८८८ ते १९०५ या कालखंडात वैज्ञानिकांच्या पुढे होता. काही केल्या त्याला उत्तर मिळेना.

इथे १९०५मध्ये प्रवेशतो २६ वर्षांचा तरुण ऑल्बर्ट आइन्स्टाइन!

❑❑

: ४ :

'आधी', 'नंतर' व एकसमयावच्छेदित्व

पुराण्या संकल्पना, त्यांच्यावर आधारलेले आपले प्रतिवाद व तार्किक विवेचन यांनी न दोन प्रयोगसिद्ध तत्त्वांची सांगड घालता येते, न संवहाची समस्या उकलते. परंतु प्रगती तर व्हायला पाहिजे, हातपाय गाळून बसण्याने ती होणार नाही. मग आपला मार्ग कोणता? पुराण्या संकल्पनांची मूलभूत समीक्षा करणे हाच उरतो! ती केली आइन्स्टाइनने.

४.१ रूपांतरण व त्याचे नियम

भ्रमणाची सापेक्षता हे तत्त्व सत्य आहे. तेव्हा भ्रमण करीत असलेल्या वस्तूंचे सहनिर्देशक, वेग, प्रवेग, इत्यादींचे जे मूल्य एका जड अक्षप्रणालीमध्ये मोजमाप करून मिळेल, त्यावरून तिच्या अपेक्षेने संथ, सरळ चाललेल्या दुसऱ्या तितक्याच उचित जड अक्षप्रणालीमधील सहनिर्देशकांचे व वेगांचे परिगणन करायला त्या दोन जड अक्षप्रणालींचा सापेक्ष वेग माहिती असायला पाहिजे. मागे आपण प्लॅटफॉर्म, डेक्कन क्वीन व लोकल यांच्या सापेक्ष वेगांचे परिगणन असेच केले होते. या प्रक्रियेला रूपांतरण (transformation) म्हणतात. रूपांतरणाचे नियम पुढीलप्रमाणे सांगता येतील–

१. जड अक्षप्रणाली शोधण्याकरता नियम असा नाही. तथापि एक सापडली, तर तिच्या अपेक्षेने संथ सरळ भ्रमण करीत असलेल्या सर्व – म्हणजे मागे म्हटल्याप्रमाणे अनंत – अक्षप्रणाली जडच असतात.

२. एखादी घटना घडण्याचा कालक्षण सर्व जड अक्षप्रणालींमध्ये एकच मानण्याचा प्रघात पूर्वापार आहे. परंतु ती घडत असलेल्या स्थानाचे सहनिर्देशक व संबंधित वस्तूंचे वेग निरनिराळ्या अक्षप्रणालींमध्ये निरनिराळे असतात. रूपांतरणाच्या नियमानुसार त्यांचे परिगणन करता येते.

३. सहनिर्देशक व वेग निरनिराळे असले, तरी बल, प्रवेग व संवेग सर्व जड अक्षप्रणालींमध्ये एकच असतात.

यावरून निष्कर्ष निघतो की, नैसर्गिक चमत्कारांचे नियम (उदाहरणार्थ न्यूटनचे नियम) सर्व प्रणालींमध्ये एकच असतात. गॅलिलिओ व न्यूटन यांच्या स्थितिगतिविज्ञान (mechanics) विषयक कार्यामधून निघालेल्या या नियमसमुच्चयाला 'अभिजात रूपांतरण' (classical transformation) असे संबोधिले जाते. विद्युच्चुंबकीय चमत्कारांचे नियमसुद्धा सर्व जड अक्षप्रणालींमध्ये एकच असतात किंवा नाही, या गहन प्रश्नाचे उत्तर आपल्याला यथाकाल मिळणार आहे.

आतापर्यंत आपण पुष्कळ विवेचन केले, परंतु मनात लपलेला वरील दुसरा नियम स्पष्ट स्वरूपात पुढे आलाच नव्हता!

४.२ विसंगतीची व्याप्ती व मर्यादा काय आहे? एक उदाहरण

वर व खाली या संज्ञांचा अर्थ काय, याचे आपण जेव्हा विवेचन केले, तेव्हा आपल्याला कळून चुकले की, त्यांच्या अर्थामध्ये शाब्दिक किंवा तार्किक विसंगती असण्याचा प्रश्न नव्हता. निसर्गातील चमत्कारांशी संबंध नसलेले उलट्या अर्थाचे शब्द भाषेमध्ये असायला काहीच प्रत्यवाय नाही. प्रश्न आला केव्हा, तर पृथ्वी सपाट नसून गोल आहे, ही कल्पना मानायला लोक तयार होईनात तेव्हा! त्या काळी लोक दूर दूर प्रवास करीत नसत. खड्डे, उंचवटे इत्यादी सोडले, तर आसपासचा प्रदेश सपाट असणारच की. विसंगती त्यांच्या संकल्पनेत होती. आपण आता विवेचन करीत असलेल्या विसंगतीची परिस्थिती साधारणपणे तीच आहे. संज्ञांच्या शब्दशः अर्थापेक्षा त्यांच्या संकल्पनांकडे लक्ष द्यायला पाहिजे. आताच्या विसंगतीचा उगम केवळ शाब्दिक किंवा तार्किक नसून सांकल्पनिक (conceptual) आहे किंवा कसे ते पाहू.

मागील प्रकरणातील विवेचनाची आठवण केली, तर लक्षात येईल की, ब्रह्मरूप (?) संवहाची संकल्पना मांडली व त्याचे अस्तित्व मानले, तेव्हा विसंगती उत्पन्न झाली. पृथ्वी गोल आहे, हे न मानणाऱ्या लोकांप्रमाणे आपला अनुभव तोकडा पडत आहे आणि आपली प्रयोगशीलता अजून अपूर्ण आहे.

समजा, आपली रेलगाडी ५४,००,००० (चौपन्न लक्ष) किलोमीटर या प्रचंड लांबीची आहे व ती २,४०,००० किमी/सेकंद या प्रचंड संथ वेगाने सरळ चालली आहे. (हे प्रचंड आकडे परिगणनाच्या सुविधेकरीता घेतले आहेत. एक अष्टमांश किलोमीटर लांबीच्या १०० किमी/तास वेगाने चाललेल्या वास्तव डेक्कन क्वीनचे उदाहरण घेऊ शकतो, परंतु मग आकडेमोड अपूर्णांकात होईल.) कोणा एका क्षणी गाडीच्या मधल्या डब्यात दिवा लागला. असेही समजू की, पहिल्या व शेवटच्या डब्यांची आपापली दारे दिवा लागल्याक्षणी तत्काल उघडतात. म्हणजे असे की, प्रकाश

दारांपाशी पोहोचताच दारे अनुक्रमे उघडणार. गाडीतील प्रवाशांचा व खाली भूमीवर उभ्या असलेल्या व्यक्तींचा या घटनासंबंधी अनुभव काय असेल?

दिव्यापाशी असलेल्या प्रवाशांचा अनुभव असा असेल: दिव्याचा प्रकाश दोन्ही डब्यांकडे ३,००,००० किमी/सेकंद या वेगाने जातो, तेव्हा दोन्हीकडे तो एकाच कालावधीत म्हणजे (५४,००,०००/२) ÷ (३,००,०००) =९ सेकंदांत पोहोचेल. दोन्ही दारे एकाच क्षणी उघडलेली दिसतील.

बाहेर भूमीवर उभ्या असलेल्या व्यक्तीचा अनुभव असा असेल: शेवटचा डबा त्यांच्याकडे २,४०,००० किमी/सेकंद या वेगाने येत आहे. त्यांच्या अपेक्षेने प्रकाश तिथे (२७,००,०००) ÷ (३,००,०००+२,४०,०००) = ५ सेकंदांत पोहोचेल. त्यांच्या अपेक्षेने पहिला डबा २,४०,००० किमी/सेकंद या वेगाने दिव्यापासून दूर जात आहे. त्यांना वाटेल की, तिथे पोहोचायला प्रकाशाला व ते दार उघडायला (२७,००,०००) ÷ (३,००,०००-२,४०,०००) = ४५ सेकंदे लागतील. शेवटच्या डब्याचे दार उघडल्यानंतर ४५-५=४० सेकंदांनी पहिल्या डब्याचे दार उघडले असे वाटेल.

दिवा पेटल्यावर दारे उघडण्याच्या दोन घटना गाडीतील प्रवाशांच्या दृष्टीने एकसमयावच्छेदेकरून (simultaneously) घडल्या, परंतु बाहेरील व्यक्तींच्या दृष्टीने ४० सेकंदांच्या विलंबाने घडल्या. हा निर्णय सामान्य विचाराच्या दृष्टीने विलक्षणच काय, संपूर्ण चूक वाटतो. एखाद्या अजगराची लांबी डोक्यापासून शेपटापर्यंत व शेपटापासून डोक्यापर्यंत मोजली, तर वेगळे आकडे मिळतील, असे म्हणण्यासारखे हे वाटते. प्रकाशवेगाची निरपेक्षता काही आपण सोडलेली नाही व भ्रमणाची सापेक्षताही सोडलेली नाही. प्रयोगांती सिद्ध झालेली ही तत्त्वे न सोडूनही असा खुळा निर्णय कसा मिळाला? सामान्य विचाराच्या हे विरुद्ध आहे, एवढे म्हणून आपण स्वस्थ बसू शकू का? की 'एकसमयावच्छेद' (simultaneity) – पर्यायाने 'काल' – या संकल्पनेची अधिक समीक्षा करायला पाहिजे?

"पृथ्वी गोल असणे शक्य नाही, कारण उलट बाजूवरील लोक पडतील," हा मध्ययुगीन मानवांचा 'सामान्य' विचार समाधानकारक होता का? अर्थात नाही. 'सामान्य विचार' म्हणजे तरी काय? दैनंदिन अनुभव व त्यामुळे उत्पन्न झालेली पूर्वग्रहदूषितता. पूर्वग्रह व सवयी सोडायला आपण साधारणतः तयार नसतो, त्या शारीरिक असो वा वैचारिक असो.

विचारांत ठसलेल्या चुकीच्या गोष्टी वैज्ञानिक सत्य नाहीत, हे माहीत झाल्यावरही सहजासहजी जात नाहीत, हे पाहण्यासाठी जरा विषयांतर करू. चेन्नईच्या जवळ एका डोंगरावर 'पक्षीतीर्थ' आहे. दुपारच्या भोजनाच्या वेळी दोन पक्षी तिथे येतात व पुजाऱ्याच्या हातातील भाताचा नैवेद्य खातात. खातात म्हणजे काय, चोच मारून उडून जातात. चोचीचा स्पर्श झालेला मुठीतील भाताचा गोळा रांजणातल्या भातात टाकून

लांब पळीने मिसळला जातो. हा 'प्रसाद' खाण्यासाठी भाविकांची झुंबड उडते. हे पक्षी विष्णूचे गरूड आहेत, प्रातःकाली वाराणसीला न्याहारी करून ते निघतात व दुपारचे भोजन पक्षीतीर्थाला करतात, हे भाविकांच्या मनात पूर्वापार ठसविले गेले आहे. वस्तुतः ते पक्षी मराठीत 'पांढरे गिधाड' व इंग्लिशमध्ये 'फॅरोज चिकन' या नावाने ओळखले जाणारे, मेलेल्या प्राण्यांचे मांस खाणारे गिधाड आहेत. वाराणसी-चेन्नई दृश्य अंतर सात तासांत पार पाडायला त्यांचा वेग १९० किमी/तास इतका, म्हणजे वेगाने जाणाऱ्या रेलगाड्यांच्या दुप्पट पाहिजे. त्यांचा वेग असतो ताशी दहावीस किलोमीटर. कितीही सांगून भाविकांचा अंधविश्वास जात नाही. वैज्ञानिकांची व विचारवंतांची मने इतकी अपरिपक्व नसतात म्हणा! तथापि सवयी जायला वेळ लागतो हे खरे.

एकाहून अधिक घटना एका अक्षप्रणालीत 'एकसमयावच्छेदी' असल्या, तर त्या सर्वांच्या दृष्टीने तशाच असणार, हा आपल्या मनातील निर्णय चुकीचा असणे संभवते, हे लक्षात यायला शतके लागली. जुनेपुराणे विचार सोडून द्यायच्या टाळाटाळीच्या मुळाशी नव्या विचारांची भीती असते, असे मनोविज्ञान सांगते. त्या भीतीतून बाहेर पडणे विचारवंतांना साध्य असावे.

एकमेकांपासून दूर असलेली घड्याळे एकच समय दाखवीत आहेत की नाही, हे कसे ठरवायचे? लक्षावधी किलोमीटर दूरचे घड्याळ आपल्याला प्रत्यक्ष दिसणार नाही, तेव्हा आपण आपल्या घड्याळापाशी उभे राहून व एक दूरचित्रवाणी कॅमेरा दूरच्या घड्याळापाशी ठेवून त्याचे चित्र आपल्या संचात पाहू शकू. समजा, दोन्ही घड्याळांत प्रातःकालचे ठीक सहा वाजले आहेत, असे दिसले. याचा अर्थ ती घड्याळे एकच समय दाखवितात, असा झाला काय? नाही! दूरचित्रवाणी यंत्रणा विद्युच्चुंबकीय तरंगांचा उपयोग करते. निर्वात अवकाशात विद्युच्चुंबकीय तरंग प्रकाशाच्या सेकंदाला तीन लक्ष किलोमीटर या वेगाने भ्रमण करतात. म्हणजे दूरच्या घड्याळातील समय थोडा का होईना, आधीचा आहे. त्याचे चित्र तत्क्षणी काही आपल्याकडे येत नाही. तत्क्षणिक असे निसर्गात काहीही नसते. संदेश पाठविण्याकरिता प्रचंड तथापि परिमित वेगाने भ्रमण करणाऱ्या विद्युच्चुंबकीय तरंगांविना (म्हणजेच प्रकाशाविना) अधिक उपयोगी अस्तित्व आपल्या हाती नाही.

४.३ काल, एकसमयावच्छेदित्व इत्यादींची अटळ समीक्षा

दोन वेगळ्या ठिकाणांहून घटना पाहणाऱ्यांच्या आकडेमोडीत ४० सेकंदांची भिन्नता येणे विचित्र वाटते; कारण वरच्या उदाहरणातील आपली गाडी ज्या वेगाने चालली होती, तितके प्रचंड वेग आपल्या दैनंदिन अनुभवात कधीच नसतात. बहुतेक वैज्ञानिकांच्या – विशेषत्वाने भौतिकी वैज्ञानिकांच्या – व्यावसायिक अनुभवात मात्र ते असतात.

सामान्य विचारांशी विसंगती आली, तरी वैज्ञानिकांची गडबड उडत नाही. नवीन प्रयोगांच्या निर्णयामुळे प्रस्थापित विचारप्रणालीशी विसंगती आली की, मात्र नवीन

विचारमंथनासाठी त्यांची झोप उडते. आपल्याला वाटले होते की, दोन घटना एका जड अक्षप्रणालीत एकसमयावच्छेदी असल्या, तर त्या सर्वत्र एकसमयावच्छेदी असल्याच पाहिजे. प्रचंड वेगाने चाललेल्या रेलगाडीच्या उदाहरणाने आपल्याला खोटे ठरविले. याचा अर्थ हा की, 'एकसमयावच्छेदित्व' सापेक्ष आहे. 'एकसमयावच्छेदित्व' या संकल्पनेला अर्थ केव्हा असेल, ज्या अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने ते सांगितले जात आहे तिचा निर्देश केला असेल तेव्हा! एकसमयावच्छेदित्वाचा संबंध दोन (वा अधिक) घटनांप्रमाणे ज्या अक्षप्रणालीतून अवलोकन केले जात आहे, तिच्या भ्रमणस्थितीशीसुद्धा असतो, असे आता समजले. नेहमीच्या अनुभवातील वेगाने चालणारे वाहन (समजा, 'मिग ३२'च्या वेगाने चालणारी रेलगाडी) घेतले असते, तर दुसरे दार उघडण्यातील विलंब इतका सूक्ष्म आला असता की, आपण त्याकडे दुर्लक्ष केले असते.

दुसऱ्या प्रकरणात "एकाच जागेवरून पत्रे पाठविली," या प्रतिपादनाला निरपेक्ष अर्थ नसल्याचे उदाहरण घेऊन आपण अवकाशाच्या सापेक्षतेची नोंद घेतली. आता नोंद घेत आहोत एकसमयावच्छेदित्वाच्या सापेक्षतेची; "एकाच क्षणी दारे उघडली," याला निरपेक्ष अर्थ नाही याची. अवकाशाप्रमाणे काल सापेक्ष आहे, हा शोध पृथ्वी गोल आहे, या शोधाइतकाच आपले डोळे उघडविणारा आहे, आपल्या विचारात क्रांती घडविणारा आहे. कालसापेक्षता ही संकल्पना आइन्स्टाइनने निर्मिली.

४.४ वेगाला मर्यादा आहे काय?

संदेशवाहक रेडिओ, दूरचित्रवाणी, अंतराळयान यांचे तरंग इत्यादी सर्व विद्युच्चुंबकीय तरंग प्रकाशाच्या वेगाने भ्रमण करतात. ध्वनीपेक्षा अधिक वेगाने जाणारी स्वनातीत (supersonic) विमाने आहेत; त्यावरून अशी कल्पना निघते की, संदेश तत्काल पोहोचविणारे संदेशवाहक तरंग निर्माण करता येतील का? प्रचंड लांबीच्या रेलगाडीच्या वरील उदाहरणात प्रकाशाचा वेग अनंत किमी/सेकंद घेतला, तर 'विलंब' शून्य येतो. असे विशेष अस्तित्व मिळाले तर संदेश क्षणात पोहोचण्याच्या लाभ मिळण्यासह एकसमया-वच्छेदित्वाला इतर काही गोष्टींप्रमाणे निर्विवाद, अक्षप्रणाली-निरपेक्ष अर्थ प्राप्त होईल.

प्रकाशाचा वेग परिमित आहे, या सत्यस्थितीतून निघालेल्या विवेचनाने काय सिद्ध झाले की, काल निरपेक्ष नाही. आपण हे प्रकाशाच्या उदाहरणाने सिद्ध केले असले, तरी ते इतर अस्तित्वांच्या बाबतीतही सदासर्वदा सिद्ध असायला पाहिजे. कारण भ्रमण-सापेक्षता हीसुद्धा सत्यस्थिती आहे. ज्याच्या योगे आपण संदेश पाठवू शकू, असे प्रकाशाविना इतर काही अस्तित्व असणे शक्य असले व त्याचा वेग प्रकाशाच्या वेगापेक्षा अधिक असला, तरी तो वेग परिमित असेल व तो कोणत्याही परिस्थितीत एकच असेल. तो वेग ही विश्वातील 'वेगमर्यादा' ठरेल. हे गुणधर्म असणारे दुसरे अस्तित्व आजपर्यंत सापडलेले नाही. तात्पर्य, संदेशवाहक (पर्यायाने ऊर्जावाहक)

प्रकाशाच्या वेगापेक्षा अधिक वेग असू शकत नाही.

यावर विश्वास न बसणारे लोक पृच्छा करतात, 'भविष्यकाळात प्रकाशाहून वेगवान अस्तित्व शोधले जाणार नाही कशावरून?' याचे उत्तर हे की, 'शक्य नाही,' असे आपल्या वरील विवेचनात कोठेच नाही. शोधले गेले, तरी त्याचा वेग परिमित असेल, अनंत नाही, हे महत्त्वाचे. शोधले गेले, तर आपल्या सर्व विवेचनात प्रकाशाचे स्थान ते अस्तित्व घेईल, एवढेच.

समजा, कोणा एके क्षणी सूर्य दुभंगला व एकमेकांभोवती फिरणारे दोन सूर्य उत्पन्न झाले. या घटनेचा पृथ्वीवर परिणाम होणार, हे उघड आहे. घटना घडल्याचा संदेश प्रकाशाद्वारे पृथ्वीला मिळायला आठ मिनिटे लागतील. तोपर्यंत पृथ्वीवर, तिच्या गतीवर, तिच्या स्वत:भोवती फिरण्यावर, तिच्या वातावरणावर, तिच्यावर वास्तव्य असलेल्या आपल्यावर व जीवजंतूंवर काहीही परिणाम जाणवणार नाही. निसर्गनियमानुसार त्यानंतर जे होणार असेल, ते होईल; परंतु ते सूर्य दुभंगल्यावर क्षणात होणार नाही, हे महत्त्वाचे.

दोन (वा अधिक) घटना एकसमयावच्छेदेकरून घडल्या की नाही, याचे परिगणन करण्याची आपली क्षमता वेगमर्यादा या संकल्पनेने काही हिरावून घेतलेली नाही. ज्या अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने ते आपण करू इच्छितो, तिच्या संथ सरळ वेगाचे ज्ञान आपल्याला अर्थात पाहिजे.

४.५ 'आधी' व 'नंतर'

प्रचंड वेगाने चालणाऱ्या आपल्या रेलगाडीचे नाव सोविएट वैज्ञानिक लाण्डाउ याने 'आइन्स्टाइन गाडी' असे समर्पक ठेवले आहे. आता समजा, दिवा पेटताच दारे उघडली जाण्याच्या स्वयंचलित यंत्रणेत दोष निर्माण होऊन प्रवाशांच्या अपेक्षेने पाठीमागील दार पुढच्या दाराच्या नंतर १५ सेकंदांनी उघडले. बाहेरील लोकांच्या अपेक्षेने पाठीमागील दार ४०-१५=२५ सेकंद आधी उघडले. जी एक घटना प्रवाशांच्या दृष्टीने दुसऱ्या घटनेच्या आधी घडली, ती प्लॅटफॉर्मवरील लोकांच्या दृष्टीने नंतर घडली. म्हणजे भूतकाळ व भविष्यकाळसुद्धा सापेक्ष, ते तुमच्या अक्षप्रणालीवर अवलंबून आहेत. आइन्स्टाइनच्या या निष्कर्षामुळे विचारवंतांची झोप उडाली, यात आश्चर्य नाही.

'आधी' व 'नंतर' दोन्ही सापेक्ष असले, म्हणजे तुमच्या अक्षप्रणालीच्या वेगावर अवलंबून असले, तरी हा निष्कर्ष सुयोग्य रीतीने वापरला पाहिजे. उदाहरणार्थ, भूतकाळाला भविष्यकाळ करू शकणारी अशी अक्षप्रणाली शोधता येईल का की, ज्यायोगे माता-पित्यांच्या जन्माआधी अपत्याचा जन्म होईल? हे अशक्य असे आपल्याला मनोमन वाटते, परंतु आइन्स्टाइन म्हणतो त्याचे काय, असे कोणी विचारेल. जन्मादि जैविक घटनांचे जैवभौतिकी इतके गुंतागुंतीचे आहे की, सांप्रत आपल्याला त्याचे संपूर्ण ज्ञान नाही. तेव्हा अशा घटना सापेक्षतावादात अद्यापि बसविल्या गेलेल्या नाहीत.

८ जून २००४ या दिवशी शुक्राचे सूर्यावर अधिक्रमण झाले. समजा, पृथ्वीवरील एक ख-वैज्ञानिक दुर्बीण लावून त्याचे अवलोकन करीत आहे व एकदिश संथ भ्रमत असलेल्या अवकाशयानातून कोणी सूर्याचे व ख-वैज्ञानिकाचे अवलोकन करीत आहे. समजा, एका विशिष्ट क्षणी शुक्रबिंबाने सूर्यबिंबात प्रवेश केला. ही घटना आठ मिनिटांनी ख-वैज्ञानिकाच्या दृष्टीस पडेल, म्हणजे सूर्यावर आलेला काळा ठिपका त्याला दिसेल. तो दिसला, हे अवकाशयान प्रवासी पाहील. त्यानंतर ख-वैज्ञानिक जे काही करेल किंवा त्याच्या संबंधात जे होईल, ते अवकाशयानाच्या अपेक्षेने, ठिपका ख-वैज्ञानिकाच्या दृष्टीस पडण्याच्या 'निर्विवाद नंतर' आहे. काळा ठिपका दृष्टीस पडण्याआधीच्या आठ मिनिटांपूर्वी (म्हणजे सूर्यापाशी घटना घडण्यापूर्वी) ख-वैज्ञानिकाने जे काही केले असेल किंवा त्याच्या संबंधात झाले असेल, ते अवकाशयानाच्या अपेक्षेने, ठिपका ख-वैज्ञानिकाच्या दृष्टीस पडण्याच्या 'निर्विवाद आधी' आहे. सारांश, 'नंतर' व 'आधी' या जुन्या संकल्पनांच्या नव्या अर्थासह 'निर्विवाद नंतर' व 'निर्विवाद आधी' या नवीन संकल्पना आइन्स्टाइनने आपल्याला दिल्या.

त्या विशेष आठ मिनिटांच्या अवधीत काही झाले – उदाहरणार्थ, सूर्यापाशी काहीतरी होणार आहे, हे माहीत असल्यामुळे ख-वैज्ञानिकाने घटनेची नोंद करण्याकरता नोंदवही पुढे ओढली – तर मात्र घटना होणे, वही पुढे ओढली जाणे, काळा ठिपका दिसणे यांच्या परस्पर 'आधी का नंतर' संबंधामध्ये फरक पडेल. वही ओढण्याची क्रिया ठिपका दिसण्याच्या आधी वा नंतर, किंबहुना त्याच क्षणी होण्यासाठी आपण अवकाशयान त्यासाठी सुयोग्य अशा वेगवेगळ्या वेगांनी व दिशांनी नेऊ शकू.

या प्रकरणात विवेचन केलेल्या तत्त्वाला 'सापेक्षतावाद तत्त्व' असे संक्षिप्त नाव देऊ या. त्याच्या योगाने नवीन व दैनंदिन अनुभवाच्या दृष्टीने विचित्र वाटणारी संकल्पना मिळाली.

□□

निरनिराळ्या घटनांच्या परस्पर कालक्रमात तीन प्रकारांची नाती असतात –

१. निर्विवाद आधी
२. निर्विवाद नंतर
३. 'आधी' व 'नंतर' हे घटनांच्या अवलोकनासाठी योजलेल्या (आइन्स्टाइन रेलगाडीसदृश) अक्षप्रणालीच्या संथ, सरळ वेगावर अवलंबून असणे

: ५ :

प्रकरणे १ ते ४ यांतील विवेचनाचा गोषवारा

पुढे जाण्याआधी आतापर्यंतच्या विवेचनाचे सिंहावलोकन केल्यास पुढील विवेचन समजण्याला सोपे होईल. अनुभव, प्रयोगसिद्ध तत्त्वे व त्यांवरून काढलेले निष्कर्ष सूत्रमय लिहू या. आवश्यकता भासल्यास योग्य ते प्रकरण पाहावे.

प्रकरण १ दैनंदिन व्यवहारांतील सापेक्षता

- स्थान, दिशा, काल, आकार, कोणीय आकार, सहनिर्देशक इत्यादींची सापेक्षता
- सापेक्षता विरुद्ध निरपेक्षता

प्रकरण २ भ्रमण, अवकाश, काल व त्यांची सापेक्षता

- भ्रमण, वेग, अवकाश, कक्षा, काल इत्यादींची सापेक्षता
- निर्विवाद स्थिरता या संकल्पनेची परिकर्मी (operational) व्याख्या अशक्य
- जड अक्षप्रणाली ही संकल्पना

प्रकरण ३ प्रकाशभ्रमणाची सापेक्षता

- भ्रमण-सापेक्षता हे प्रयोगसिद्ध तत्त्व
- प्रकाशवेग निर्विवाद, निरपेक्ष, एकमात्र असतो, हे मायकेलसन प्रयोगसिद्ध तत्त्व
- प्रकाशाच्या संदर्भात या दोन तत्त्वांमधील विसंगती
- प्रकाश व इतर विद्युत्चुंबकीय तरंगांना वाहणारे संवह व या संकल्पनेची विफलता

- या विसंगतीच्या उकलनासाठी सव्वीस-वर्षीय-आइन्स्टाइनप्रणीत सापेक्षतावादाचा उद्‌गम

> **भ्रमणाची सापेक्षता**
> एका जडप्रणालीतील हालचालीचे, भ्रमणाचे व इतर नैसर्गिक चमत्कारांचे नियम तिच्या अपेक्षेने संथ, सरळ प्रवास करीत असलेल्या कोणत्याही दुसऱ्या अक्षप्रणालीत तसेच, तितकेच व त्याप्रमाणेच लागू पडतात.
>
> **प्रकाशवेगाची निरपेक्षता**
> निर्वात अवकाशातील प्रकाशाचा वेग प्रकाशाच्या उगमस्थानाच्या व प्रकाशाचे अवलोकन करीत असलेल्या स्थानांच्या वेगावर तसेच प्रकाशाच्या प्रवासाच्या दिशेवर अवलंबून नसतो व तो बदलता येत नाही.

प्रकरण ४ कालाची संपूर्ण सापेक्षता – 'आधी', 'नंतर' व 'एकसमयावच्छेदित्व'

- एकाहून अधिक अक्षप्रणालींच्या आपापसांतील अभिजात रूपांतरणाचे नियम
- प्रचंड आकाराची व प्रचंड वेगाने भ्रमणारी काल्पनिक आइन्स्टाइन रेलगाडी व त्यामधील विलक्षण चमत्कार
- आइन्स्टाइनने केलेले विसंगतीचे उकलन
- आधी, नंतर व एकसमयावच्छेदित्व सापेक्ष असतात (म्हणजे निवडलेल्या अक्षप्रणालीवर अवलंबून असतात)
- संपूर्ण विश्वाकरिता वेगमर्यादा (प्रकाशाचा व इतर विद्युच्चुंबकीय तरंगांचा निर्वात अवकाशातील वेग)

□□

: ६ :

कालमापन व अंतरमापन

६.१ मापन व मापनप्रणाली अथवा मापनसंहती (system of measurement)

अन्न-वस्त्र-निवारा या प्राथमिक आवश्यकता भागविल्यावर जीवनशैली विकसित करण्यासाठी मानवाला अनेकविध यत्न करायला लागले होते. ते करीत असताना निसर्गातील चमत्कारांचे अवलोकन करण्याची सवय आपोआप लागली. त्यातून अनेक कल्पना सुचल्या, औत्सुक्य वाढत गेले. आताही कल्पना सुचतात, औत्सुक्य वाढत जाते. नैसर्गिक चमत्कार आपण आपल्या हातांनी वास्तूमध्ये करू पाहतो. त्यासाठी आपण उपलब्ध पदार्थ वापरून निरनिराळ्या वस्तू रचतो. त्यांना आपण उपकरणे असे नाव देतो. अशी अनेक उपकरणे, साधने, यंत्रे रचून झाली व त्यायोगे आपण चमत्कार अभ्यासत राहिलो की, 'वास्तू'ला दुसरे नाव शोधायला लागते. आपण जे करतो, ते झाले 'प्रयोग'; जेथे करतो, ती झाली 'प्रयोगशाळा'. प्रयोगांत काय पाहिले, काय सापडले, इत्यादींची आपण बारकाव्याने नोंद करायला लागतो.

हळूहळू वाटायला लागते, (उदाहरणार्थ) केवळ "एक वस्तू दुसरीपेक्षा जड आहे," असे म्हणण्यापेक्षा ती "किती जड आहे," हे सांगता आले पाहिजे. आपण मागे पाहिले की, 'जडत्व' हा वस्तूंचा नैसर्गिक गुण आहे. वस्तूच्या जडत्वाचे 'मान' (measure) म्हणजे वस्तुमान. ते मोजण्याची क्रिया म्हणजे 'मापन'. मापनाचे निर्णय सांगायला 'एकक' (unit) लागते, जसे 'किलोग्रॅम' हे वस्तुमानाचे एकक आहे. वस्तुमान, अंतर यांसारख्या इतर पुष्कळ संकल्पना विज्ञानात, अभियांत्रिकीत व प्रौद्योगिकीत निर्माण करायला लागतात. उदाहरणार्थ, क्षेत्रफळ, घनफळ, काल, वेग, प्रवेग, संवेग, घनता, बल, गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्र, विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र, विद्युत्प्रवाह, विद्युत्भार, विद्युदवरोध... अशा अनेक अस्तित्वांची व त्यांच्या एककांची व्याख्या करायला लागते. असे

आढळले आहे की, कोणतीही चार एकके मूलभूत समजली, तर इतर सर्व एककांची व्याख्या त्यांच्यावरून करता येते. कोणती चार घ्यायची, हा प्रश्न प्रायोगिक सुविधेचा आहे. वस्तुमानासाठी किलोग्रॅम, अंतरासाठी मीटर, कालासाठी सेकंद व विद्युदवरोधासाठी ओह्म ही घेतली तर सर्व सुकर होते. या मापनप्रणालीला 'मीटर-किलोग्रॅम-सेकंद-ओह्म प्रणाली' असे संबोधिले जाते. तिच्यामध्ये आवश्यक ते फेरफार करून आता आंतरराष्ट्रीय मानकसंहती (system of standards) रचलेली आहे.

मोजमाप करण्याच्या पद्धती काढण्यासाठी निसर्गातील चमत्कारांचे प्रयोग घरी करायलाच पाहिजेत, असे नाही, हे उघड आहे. त्याआधी घरे, वस्त्रे, मृगयेची आयुधे, नांगरणी, वाहनांची चाके इत्यादींच्या रचनेकरिता सहस्रो वर्षांपूर्वी मानवाने मोजमापाची प्राथमिक व्यवस्था केली असणारच. संपूर्ण व परिपूर्ण मानकसंहतीची संकल्पना मात्र वैज्ञानिकांनी काढली.

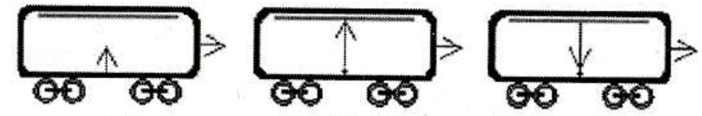
६.२ कालमापनक्रिया

हे सर्व सांगण्याचा हेतू असा की, 'मापना'मध्ये पुष्कळ काही अभिप्रेत आहे, जे दैनंदिन व्यवहारात आपल्या अवधानात नसते. लाकडाच्या एखाद्या ओंडक्याची लांबी मोजायला आपण काय करतो? मीटरपट्टीचे (किंवा मीटरफितीचे) एक टोक ओंडक्याच्या एका टोकाशी ठेवतो व ओंडक्याच्या दुसऱ्या टोकापर्यंत जायला मीटरपट्टी व तिचा अंश किती वेळा जुळवायला लागतात, हे पाहतो. जिच्यावर मोजमाप करायचे, ती वस्तू आपल्या आवाक्यातील असेल, तर हे सर्व सोपे आहे. ती जर प्रचंड असेल तर?

आणखी एक उदाहरण घेऊ. समजा, आपल्याला एकमेकांच्या अपेक्षेने संथ, सरळ भ्रमत असलेल्या दोन अक्षप्रणालीमधील कालमापनाची तुलना करायची आहे. कालमापन कसल्या तरी घड्याळाने केले जाते. एका अक्षप्रणालीत बसून दुसऱ्या अक्षप्रणालीतील घड्याळ काय वेळ दाखवीत आहे, हे कसे ठरवायचे? सापेक्ष वेग दैनंदिन व्यवहारातील परिचयाचे असले, तर विशेष अडचण येत नाही. धावत्या डेक्कन क्वीनमधून स्थानकावरील घड्याळ आपण पाहू शकतो किंवा वेगामुळे ते साध्या डोळ्यांना दिसत नसेल, तर त्याचे प्रकाशचित्र घेऊ शकतो. दुसरी अक्षप्रणाली आपल्यापासून प्रचंड अंतरावर असेल व त्यामुळे आपण तिच्यातील घड्याळ पाहू शकत नसू तर, किंवा तिचा सापेक्ष वेग प्रचंड असेल तर?

म्हणजे आता पुन्हा 'आइन्स्टाइन रेलगाडी'त बसायला पाहिजे. असे समजू की आपला रेलमार्ग इतका लांब आहे की, तो कधी संपत नाही, तसेच तो अगदी सरळ आहे. प व फ या दोन स्थानकांमध्ये अंतर आहे ८६,४०,००,००० किमी म्हणजे शाऐंशी कोटी चाळीस लक्ष किलोमीटर. २,४०,००० किमी/सेकंद (सेकंदाला दोन लक्ष चाळीस सहस्र किलोमीटर) या वेगाने चालणाऱ्या 'आइन्स्टाइन गाडी'ला हे अंतर पार करायला एक तास लागेल. दोन्ही स्थानकांवर आपापली घड्याळे आहेत. एक

२,४०,००० किमी/सेकंद



६.१ ६.२ ६.३

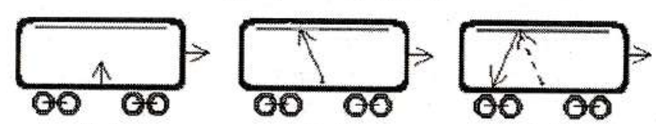
आकृती ६ : आइन्स्टाइन रेलगाडीतील प्रवाशाच्या दृष्टीने प्रकाशझोताचे भ्रमण
६.१ : विजेरीतून प्रकाश निघाल्याचा क्षण
६.२ : प्रकाश आरशावर पडण्याचा क्षण
६.३ : प्रकाश विजेरीकडे (डब्याच्या तळाकडे) परतण्याचा क्षण

प्रवासी प स्थानकावर गाडीत चढते. तिने आपले मनगटी घड्याळ तेथील घड्याळासारखे लावलेले आहे आणि आपले घड्याळ अगदी योग्य वेळ दाखविते, हा तिला विश्वास आहे. गाडी फ स्थानकावर आल्यावर तिने घड्याळ पाहिले, तेव्हा तिला दिसले की, मनगटी घड्याळातील वेळ पाठीमागे आहे! हे कसे काय झाले? असे होणे शक्य आहे का?

समजा, प्रवासी महिला बसलेल्या डब्याच्या छतावर एक आरसा बसविला आहे व ती आपल्या हातातील विजेरीच्या प्रकाशाचा झोत त्या आरशावर सरळ वरती पाडते. आरशावर पडून परावर्तित झालेला झोत परत विजेरीवर पडला, असे ती म्हणेल. (आकृती ६.१ ते ६.३). प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीला काय दिसेल? विजेरीतून निघालेला (आकृती ७.१) झोत आरशावर पडेपर्यंत गाडी काही अंतर पुढे गेलेली असणार (आकृती ७.२).

परावर्तित झोत पुन्हा डब्याच्या तळावर पडेपर्यंत गाडी तितकेच अंतर आणखी पुढे गेलेली असणार (आकृती ७.३). प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या दृष्टीने प्रकाशझोत आकृती ६ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे 'वर-खाली' गेलेला नसून आकृती ७.२ व ७.३मध्ये

२,४०,००० किमी/सेकंद

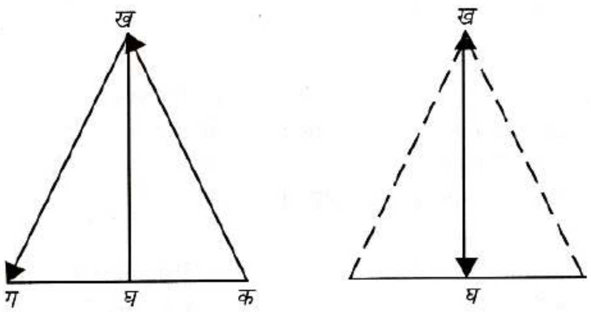


७.१ ७.२ ७.३

आकृती ७ : प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या दृष्टीने प्रकाशझोताचे भ्रमण

दाखविल्याप्रमाणे 'तिरका-वर' व 'तिरका-खाली' गेला आहे. म्हणजे प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या अपेक्षेने प्रकाश अधिक अंतर गेला. मात्र प्रकाशाचा वेग सर्वांच्या अपेक्षेने एकच आहे, ३,००,००० किमी/सेकंद. तेव्हा निष्कर्ष हा की, प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या अपेक्षेने विजेरीतून निघून परत यायला प्रकाशाला अधिक कालावधी लागला. किती अधिक याचे परिगणन आपण सहज करू शकतो.

प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीला दिसलेला प्रकाशझोताचा *कख* व *खग* हा मार्ग आकृती ८ मध्ये दाखविला आहे. *घख* ही झाली डब्याची उंची. समजा, त्या व्यक्तीला आपल्या घड्याळावरून दिसले की, या मार्गाने जायला प्रकाशाला १० सेकंदे लागली. या



आकृती ८

कालात प्रकाशाने (३,००,००० किमी/सेकंद)×(१० सेकंदे) = ३०,००,००० (म्हणजे तीस लक्ष) किलोमीटर प्रवास केला. म्हणजे *कख*=*खग*= १५,००,०००. व या कालात रेलगाडी *गक* = (२,४०,००० किमी/सेकंद) × (१० सेकंदे) = २४,००,००० (म्हणजे चोवीस लक्ष) किलोमीटर गेली.

शाळेत शिकलेले साधे $(कख)^2 = (घख)^2 + (घक)^2$ हे पायथॅगरस प्रमेय वापरून आपल्याला डब्याची *घख* ही उंची ९,००,००० (नऊ लक्ष) किलोमीटर इतकी मिळते. प्रचंड लांबी असलेल्या केवळ आइन्स्टाइन रेलगाडीच्या डब्याचीच उंची अशी प्रचंड असू शकेल! प्रवासी महिलेने पाहिलेले प्रकाशाने पार केलेले अंतर याच्या दुप्पट म्हणजे *घख* + *खघ* = १८,००,००० (अठरा लक्ष) किलोमीटर आहे. ते पार करायला प्रकाशाला (१८,००,०००किमी) ÷ (३,००,००० किमी/सेकंद) = ६ सेकंदे लागली.

एकमेकांच्या सापेक्षतेने संथ, सरळ भ्रमण करणाऱ्या (प्रवासी महिला व स्थानकावरील

व्यक्ती यांच्या) दोन अक्षप्रणालींच्या दृष्टीने (डब्याच्या तळावरून प्रकाश निघणे व छतावरील आरशावरून परावर्तित होऊन प्रकाश पुन्हा तळाकडे येणे या) दोन घटनांतील कालावधी ६ सेकंदे व १० सेकंदे असे भिन्न आहेत, हा आणखी एक अतिशय विचित्र, विलक्षण व साधारण विचाराने 'अविश्वासार्ह' निष्कर्ष ज्यातून निघतो, तो आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद कितपत स्वीकारायचा, हा प्रश्न आपल्या पुढे नव्यानेच उद्‌भवत आहे.

६.३ कालमापनांतील विसंगती खरी आहे काय?

म्हणजे असे झाले की, स्थानकाच्या घड्याळाप्रमाणे १० सेकंदे व्यतीत होत असताना रेलगाडीच्या घड्याळाप्रमाणे केवळ ६ सेकंदे व्यतीत होत होती. *प* या स्थानकावरून निघालेली आइन्स्टाइन रेलगाडी *फ* या स्थानकाला पोहोचायला एक तास लागला, असे दोन्ही स्थानक-प्रबंधक म्हणतील, परंतु प्रवासी महिला म्हणेल, (६०) × (६/१०) = ३६ मिनिटे लागली. एका तासात तिचे घड्याळ स्थानकाच्या घड्याळाच्या २४ मिनिटे मागे गेले, असेही म्हणता येईल. गाडीचा वेग जितका अधिक तितके तिचे घड्याळ अधिक मागे जाईल. प्रकाशाच्या वेगाच्या ९९.९९ प्रतिशत गाडीचा वेग असेल, तर स्थानकाचे घड्याळ एक तास कालावधी दाखवेल, तेव्हा प्रवासी महिलेचे घड्याळ केवळ एक मिनिट दाखवेल. (हे परिगणन वरील पद्धतीप्रमाणे करून पाहाच.)

भ्रमण करणारी सर्व घड्याळे मागे जातात, त्यांचा वेग काही का असो, असा याचा अर्थ झाला. यावरून दोन प्रश्न उद्‌भवतात.

१. भ्रमणसापेक्षता व प्रकाशवेग-निरपेक्षता या दोन प्रयोगसिद्ध तत्त्वापासून चालू केलेल्या विवेचनातून पहिल्या तत्त्वाशी विसंगत निष्कर्ष कसा निघाला?,

२. असे तर नाही यावरून सिद्ध होत की, सर्वांत पुढची वेळ दाखविणाऱ्या घड्याळाची अक्षप्रणाली स्थिर समजावी?

कोठेतरी, काहीतरी चुकते आहे काय?

अगदी खरे तर कोठेही, काहीही मूलभूत चुकलेले नाही. एका गोष्टीचा परामर्श आपण घेतलेला नाही, एवढेच. प्रवासी घड्याळ व स्थानक घड्याळ या दोन घड्याळांची तुलना आपण असममित (asymmetric) परिस्थितीत केली. वस्तुत: तीन घड्याळे आहेत. प्रवासी महिलेचे, *प* स्थानकाचे व *फ* स्थानकाचे. प्रवासी महिलेने तिच्या घड्याळातील वेळ प्रथमत: *प* स्थानकाच्या घड्याळाशी जुळविली, मात्र *फ* स्थानक आल्यावर तिने आपल्या घड्याळातील वेळाची तुलना तेथील घड्याळाशी केली. सममित (symmetric) परिस्थिती पुढीलप्रमाणे असणार. आइन्स्टाइन रेलगाडीच्या पहिल्या व शेवटच्या डब्यात आपापली घड्याळे आहेत. कोणत्याही एका स्थानकावरील व्यक्ती स्थानक-घड्याळ पहिल्या डब्याच्या घड्याळाप्रमाणे लावते. गाडीला आपल्या समोरून जायला किती कालावधी लागतो, हे ती व्यक्ती पाहील व प्रवासी महिलेने

पाहिलेल्या कालावधीशी तुलना करील, तर तिला आढळून येईल की, आपले घड्याळ मागे आहे.

स्थानकावरील व्यक्ती असाही प्रयोग करू शकेल. एक प्रकाशझोत प्लॅटफॉर्मवरून स्थानकाच्या छताकडे सोडायचा व छतावरील आरशावर परावर्तित होऊन परतायला किती वेळ लागतो, ते पाहायचे. (प्रचंड रेलगाडीच्या स्थानकाची उंचीसुद्धा तितकीच प्रचंड असणार.) तेच प्रवासी महिलेने करायचे. स्थानकावरील व्यक्तीला असे आढळेल की, तिचे घड्याळ पुढे आहे. आइन्स्टाइन गाडी स्थानकाच्या अपेक्षेने एका दिशेने संथ, सरळ चालली आहे, असे म्हटले काय किंवा स्थानक गाडीच्या अपेक्षेने त्याच वेगाने परंतु उलट्या दिशेने संथ, सरळ चालले आहे, असे म्हटले काय, एकूण एकच!

तात्पर्य, "आपल्या अपेक्षेने संथ, सरळ भ्रमण करीत असलेल्या घड्याळापेक्षा आपले घड्याळ कमी वेळ दाखविते," हा नियम गाडी व स्थानक या दोन्ही जड अक्षप्रणालींत लागू आहे. निसर्गनियम सर्व जड अक्षप्रणालींत एकच असतात, या तत्त्वाला बाधा आलेली नाही.

या ठिकाणी आपल्याला फुरसुंगी घाटातील गाड्या आठवतील. प्रत्येकीतील प्रवासी म्हणत, "ती दुसरी गाडी लहान दिसते, आमची गाडी नीट सुयोग्य आकाराची दिसते." त्या चमत्काराचा बारकावा वेगळा असला, तरी त्यात 'सापेक्षता' होती, त्यामुळे आठवण येते.

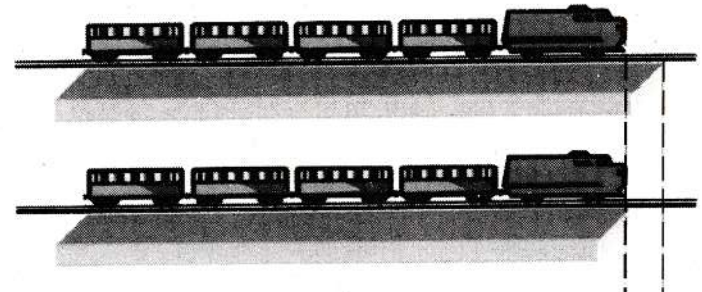
६.४ अंतरमापन

कालाची सापेक्षता आपल्याला सापेक्षतावादामुळे समजली. तिच्यामुळे होणारे परिणाम आपण पाहिले. मुख्य निष्कर्ष हा निघाला की, कोणच्या अक्षप्रणालीच्या दृष्टीने आपण कालमापन करीत आहोत, याचा स्पष्ट निर्देश केल्याविना कालमापनाला व कालगणनेला अर्थ नसतो. आता अवकाशाकडे वळू. प्रथम दृष्टिक्षेपात असा आभास होतो की, आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादामुळे काल व कालमापन यासंबंधीच्या पूर्वापार कल्पनांना जितके मोठे तडे गेले, तितके अवकाश व अवकाशमापन याविषयींच्या कल्पनांना गेले नसावे; कारण अवकाश सापेक्ष आहे, ही जाणीव आधी होतीच. आता बघू या, काय होते ते.

अवकाश सापेक्ष आहे, हे माहीत असूनसुद्धा अवकाशात प्रस्थित (situated) वस्तूंचे रूप, आकार, वस्तुमान यांसारखे गुणधर्म अक्षप्रणाली-निरपेक्ष आहेत, असे सुप्त रीत्या आपल्या मनात होते. स्थानकात असलेल्या पुस्तकांच्या कपाटाची लांबी प्लॅटफॉर्मवर बसून मोजली काय किंवा धाडधाड जाणाऱ्या डेक्कन क्वीनमध्ये बसून मोजली काय, ती एकच भरणार, असे आपण समजत होतो. आपली पेटी प्लॅटफॉर्मवर असली काय किंवा गाडीत असली काय, तिचे वस्तुमान २५ किलोग्रॅमच असणार, हा आपला ('अंध'?) विश्वास होता. आता ताशी १२० किलोमीटरने जाणाऱ्या डेक्कन

क्वीनऐवजी आइन्स्टाइन रेलगाडीत बसू व पाहू काय मिळते!

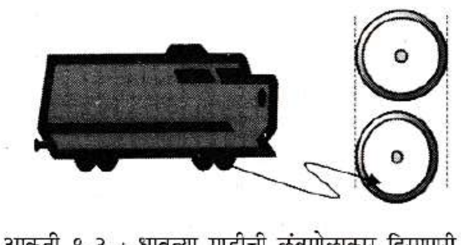
समजा, स्थानकाच्या प्लॅटफॉर्मची लांबी २४,००,००० किमी इतकी प्रचंड आहे. (आइन्स्टाइन रेलगाडीचे सर्वच प्रचंड आहे!) त्यावर न थांबता २,४०,००० किमी/सेकंद या वेगाने तो पार करायला आइन्स्टाइन रेलगाडीला स्थानकावरील घड्याळानुसार (२४,००,००० किमी) ÷ (२,४०,००० किमी/सेकंद)=१० सेकंदे लागतात. परंतु प्रवासी महिलेच्या घड्याळानुसार केवळ ६ सेकंदे लागणार. ती म्हणणार की या



आकृती ९.१ :
प्रवासी महिलेला प्लॅटफॉर्मची लांबी आकुंचन पावलेली दिसते



आकृती ९.२ : स्थानक प्रबंधकाला गाडीची लांबी आकुंचन पावलेली दिसते



आकृती ९.३ : धावत्या गाडीची लंबगोलाकार दिसणारी चाके

कालावधीत गाडी (२,४०,०००किमी/सेकंद) × (६ सेकंदे) म्हणजे १४,४०,००० किमी गेली. तिच्या अपेक्षेने प्लॅटफॉर्मची लांबी केवळ १४,४०,००० किमी आहे. तात्पर्य, एखाद्या वस्तूच्या अपेक्षेने वेगात जाणाऱ्या वाहनाच्या अपेक्षेने त्या वस्तूची लांबी कमी भरते. वेग जितका अधिक, तितकी लांबी कमी (आकृती ९.१). या पद्धतीने स्थानक-प्रबंधकाच्या अपेक्षेने गाडीची लांबीसुद्धा कमी भरणार (आकृती ९.२). जणू काही भ्रमणाऱ्या वस्तू आकुंचन पावतात. काय विचित्र निष्कर्ष आहे हा! तो विचित्र वाटतो, कारण दैनंदिन अनुभवातील वेग प्रकाशवेगाच्या मानाने नगण्य असतात.

एक लक्षात ठेवायचे, की वस्तूंची इतर परिमाणे तीच राहतात. उदाहरणार्थ, येथे प्लॅटफॉर्मची उंची व रुंदी त्याच राहतात. केवळ वेगाच्या दिशेतील परिमाण (dimension), येथे गाडीची लांबी, आकुंचन पावते. आइन्स्टाइन रेलगाडी प्लॅटफॉर्मवर उभी राहिली व स्थानक-प्रबन्धकाने तिची लांबी मोजली, तर ती मुळातीलच भरेल, आकुंचित भरणार नाही. परिमाण-आकुंचन वेगामुळे झालेले आहे. त्यात काही मायावी प्रकार नाही. गंमत ही की, चालत्या गाडीतून प्रबंधकाची उंची तीच दिसणार, परंतु तो आहे, त्याहून काटकुळा दिसणार!

दुसरे असे की, परिमाण-आकुंचन हा काही दृष्टिभ्रम नाही. प्रवासी महिलेने प्लॅटफॉर्मची लांबी तिच्याजवळच्या कोणत्याही उपकरणाने वा साधनाने मापली, तरी ती आकुंचित मिळेल. याचे कारण काय असेल बरे? अशा प्रकारच्या कोणत्याही मापनामध्ये प्रकाशझोत वापरण्याची आवश्यकता भासणार. या दृष्टीने विवेचन केले, तर हाच निष्कर्ष मिळतो. आपणसुद्धा प्रकाशझोत योजून विवेचन केले, हे लक्षात असू द्या.

चौथ्या प्रकरणात आपण काल, एकसमयावच्छेदित्व, आधी, नंतर... इत्यादी संकल्पनांची समीक्षा करताना आइन्स्टाइन रेलगाडीची दोन दारे उघडण्यातील स्टेशन-प्रबंधकाच्या अपेक्षेने झालेल्या विलंबाचे विवेचन केले होते. तो विलंब ४० सेकंदे भरला होता. त्या विवेचनात एक त्रुटी राहून गेली होती, हे आपल्या दृष्टीला आता येते आहे. गाडीची लांबी धरताना आपण आकुंचन लक्षात घेतले नव्हते. ते लक्षात घेतले, तर विलंब ४० × (६/१०) = २४ सेकंदे आहे. विलंबाचे अचूक मूल्य २४ सेकंदे आहे, ४० सेकंदे नाही असे आपल्याला आता समजते आहे. तथापि विलंब ४० सेकंदे असो, २४ सेकंदे असो, त्या विवेचनावरून काढलेले निष्कर्ष तेच राहतात.

बारकाईने पाहिले, तर असे आढळते की, गाडीची चाके वर्तुळाकार दिसत नसून लंबगोलाकार दिसत आहेत (आकृती ९.३). चाके गोल फिरतात, परंतु लोहमार्गाला क्षणिक समांतर असणारा – म्हणजे गाडीच्या वेगाच्या दिशेत असलेला – व्यासच केवळ आकुंचन पावलेला दिसत आहे. लंबगोलाकार चाके असलेल्या वाहनाचे डबे वर-खाली होत – म्हणजे 'धक्के' खात – चालणार हा आपला अनुभव आहे, तेव्हा आइन्स्टाइन गाडी धक्के खात जात आहे, असे दिसेल काय? परंतु तसे दिसणार नाही. फिरणाऱ्या चाकांचा क्षणिक उभा व्यास (ज्यामध्ये बदल झाला, तर डबे वर-खाली होत

आहेत, असे दिसेल तो) बदललेला दिसणार नाही, कारण तो वेगाच्या दिशेत नाही, जसे गाडीची उंची काही आकुंचन पावलेली नाही; गाडीच्या वेगाच्या दिशेत असणारा आकुंचन पावणारा व्यास क्षणाक्षणाला बदलत आहे मात्र. प्रवाशांना तसे काही भासणार नाही, कारण त्यांच्या दृष्टीने आपल्या गाडीची परिमाणे आकुंचन पावण्याचा प्रश्नच नाही. त्यांच्या अपेक्षेने गाडी स्थिरच आहे. साध्या दुचाकीची चाके तिरकी पाहिली, तर ती लंबगोलाकार दिसतात; परंतु चालत्या दुचाकीला धक्के थोडेच बसतात? अर्थात येथे यथार्थदर्शनाचा (perspectiveचा) प्रश्न आहे, तर सापेक्षतावादात आकुंचनाचा आहे.

आकृत्या ९.१ व ९.२ यांमधील कोणती आकृती वस्तुस्थितीला धरून आहे? हा प्रश्न निरर्थक अतएव चुकीचा आहे. अवलोकन करीत असलेल्या त्या त्या व्यक्तीच्या अपेक्षेने अनुक्रमे दोन्ही आकृत्या वस्तुस्थिती दर्शवितात. हेच तर आइन्स्टाइनप्रणीत सापेक्षतावादाचे सार आहे.

पहिल्या प्रकरणातील आकृती २ पुन्हा पाहा. एखादी वस्तू दूर नेली, तर ती आपल्याला लहान दिसते; परंतु ते दिसणेसुद्धा वास्तव आहे. अर्थात हा अनुभव आपल्या पूर्ण परिचयाचा असल्यामुळे त्यात विचित्र असे काही वाटत नाही. प्रचंड वेगांमुळे दृग्गोचर होणारी सापेक्षता दैनंदिन परिचयाची नसल्यामुळे आइन्स्टाइन काहीतरी 'भयंकर' निष्कर्ष काढत आहे, असे वाटल्याविना राहिले नाही, राहत नाही. अधिकाधिक परिचयाने सर्व काही स्वाभाविक वाटायला लागते, कारण ते आपल्याला हळूहळू समजत गेलेले असते.[१]

६.५ प्रकाशाच्या वेगापेक्षा अधिक वेग खरेच का असू शकत नाही? (विवेचनोत्तर उत्तर मिळेल 'नाही'!)

१०० किमी/तास या वेगाने संथ, सरळ जाणाऱ्या डेक्कन क्वीनमधील प्रवासी महिला आपल्या डब्यातून ५ किमी/तास या वेगाने एंजिनकडे जायला निघाली असे समजा. प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या अपेक्षेने महिलेचा वेग १००+५=१०५ किमी/तास भरणार. हे 'अगदी स्पष्ट' आहे असे आपल्याला वाटते.

परंतु समजा, प्रवासी महिला २,४०,००० किमी/सेकंद या प्रचंड वेगाने जाणाऱ्या आइन्स्टाइन रेलगाडीत आहे व आपल्या डब्यातून १,००,००० किमी/सेकंद या प्रचंड वेगाने एंजिनकडे जायला निघाली. म्हणजे २,४०,००० किमी/सेकंद तिचा वेग २,४०,०००+१,००,०००=३,४०,००० किमी/सेकंद भरणार. निर्वात अवकाशात प्रकाशाचा वेग असतो ३,००,००० किमी/सेकंद. प्रयोगसिद्ध प्रकाशवेग-निरपेक्षता

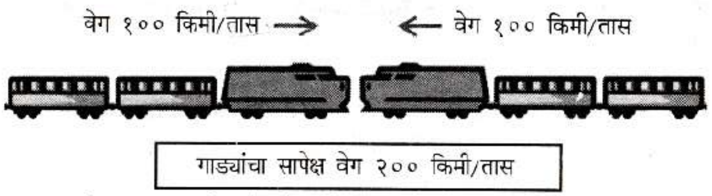
१. प्रकाशापेक्षा जरा कमी परंतु प्रचंड वेगाने भ्रमणारे व स्वतःच्या अक्षाभोवती फिरणारे चाक व त्याचे 'स्पोक्स' कसे दिसतात, याचे सुंदर चलच्चित्र पुढील मायाजालस्थानी पाहावे. http://www.gravitywaves.com/bmyth_08.htm

तत्त्वाला अशी बाधा येणे आपल्याला चालणार नाही. मग काय करायचे?

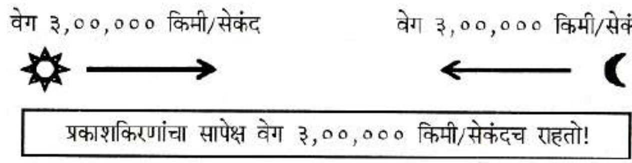
एकच उपाय आहे. सापेक्ष वेगाचे परिगणन करण्याचे साध्यां बेरजेचे आपले सूत्र काही ठीक नाही, असे मानायला पाहिजे. आइन्स्टाइनप्रणीत इतक्या विचित्र गोष्टी आपण पाहिल्या आहेत, त्यांत ही आणखी एक. तथापि ३,४०,००० किमी/सेकंद या परिगणनात चुका राहून गेल्या आहेत, पाहा!

वेग म्हणजे कापलेले अंतर भागिले त्याला लागलेला कालावधी. २,४०,००० किमी/सेकंद हा गाडीचा वेग प्लॅटफॉर्मवरील व्यक्तीच्या अपेक्षेने आहे. त्या व्यक्तीने स्थानकावरील अंतरमापनयंत्रणा व घड्याळ यांचा उपयोग करून तो निश्चित केला. प्रवासी महिलेचा एंजिनकडे जाण्याचा सापेक्ष वेग तशा प्रकारेच निश्चित करायला नको का?

आइन्स्टाइनने तेही केले व एक नवे सूत्र निष्पन्न झाले. निरनिराळ्या अक्षप्रणालींचे वेग काहीही असले (अर्थात प्रकाशवेगापेक्षां कमी), तरी सापेक्ष वेगाचे, प्रकाशाच्या वेगाचेसुद्धा, परिगणन कधीही ३,००,००० किमी/सेकंद याहून अधिक येत नाही. गॅलिलिओ-न्यूटनप्रणीत साध्या बेरजेचे सूत्र चूक आहे, असे नाही. ते अपूर्ण आहे. प्रकाशवेगाहून पुष्कळ कमी असलेल्या वेगांना ते योजिल्यामुळे परिगणनात आलेली



आकृती १०.१ : सापेक्ष वेगाचे आइन्स्टाइन सूत्र (क्षुल्लक वेगासाठी निकटन)



आकृती १०.२ : सापेक्ष वेगाचे आइन्स्टाइन सूत्र प्रकाशाकरता
(प्रकाशाचा उद्गम चंद्रसूर्यातच व्हायला पाहिजे, असे नाही, विजेरी चालेल!)

चूक मोजता येत नाही, तेव्हा दैनंदिन व्यवहारात ते वापरायला प्रत्यवाय नाही.

प्रकाशवेगासारखे प्रचंड वेग सांप्रत दैनंदिन अनुभवात अधिकाधिक येत आहेत. बहुतेकांना त्याची स्पष्ट जाणीव नसते, एवढेच. उदाहरणार्थ, दूरचित्रवाणी संच व संगणक नियंत्रक यांतील ऋणाणू प्रक्षेपी यंत्रणेतून प्रक्षेपित झालेल्या ऋणाणूंचा वेग प्रकाशाच्या वेगाच्या ०.८-०.९ इतका असतो. त्या यंत्रणेचे संकल्पन (design) करताना आइन्स्टाइनचे सूत्र योजायला लागते. बाहेरील विश्वातून पृथ्वीकडे येणाऱ्या वैश्विक किरणांतील विद्युत्प्रभारित कणांचा वेग प्रचंड (परंतु प्रकाशवेगापेक्षा कमी!) असतो. रेडिअम इत्यादी किरणोत्सारी पदार्थांतून येणाऱ्या जड कणांचा वेग प्रचंड (परंतु प्रकाशवेगापेक्षा कमी) असतो.

आइन्स्टाइन सूत्राचा एक विशिष्ट निर्णय आकृती १० मध्ये चित्रित केला आहे. ताशी १०० किलोमीटर वेगाने एकमेकींकडे जात असणाऱ्या दोन रेलगाड्यांचा सापेक्ष वेग गॅलिलिओ-न्यूटन यांच्या सूत्राला अनुसरून ताशी २०० किलोमीटर असणार (आकृती १०.१ पाहा). आइन्स्टाइन सूत्राने त्याची परिगणना केली तर प्रयोगाने मोजता येऊ शकणारा फरक पडणार नाही. निर्वात अवकाशात सेकंदाला ३,००,००० किलोमीटर या वेगाने एकमेकांकडे जात असणाऱ्या दोन प्रकाशकिरणांचा सापेक्ष वेग गॅलिलिओ-न्यूटन यांच्या सूत्राला अनुसरून सेकंदाला ६,००,००० किलोमीटर येईल. परंतु तसे असणे शक्य नाही, हे आपले प्रयोगसिद्ध प्रकाशवेग निरपेक्षता तत्त्व आहे. आइन्स्टाइनच्या सूत्राप्रमाणे तो सेकंदाला ३,००,००० किलोमीटरच येतो (आकृती १०.२). हे कसे? कारण हे की, आइन्स्टाइन सूत्रामध्ये प्रकाशवेग सुस्पष्ट रीतीने व्यक्त झालेला आहे, मग भले एखाद्या परिस्थितीत प्रकाशाचा विशिष्ट संबंध नसे ना का! 'वेग' म्हटले की, अंतरमापनाचा व कालमापनाचा प्रश्न येतो व त्यांच्या संकल्पनेत संदेशवाहक सुयोग्य, एकमेव अस्तित्व जो प्रकाश त्याचा सुस्पष्ट संबंध येतो, हे आपण पाहिले आहेच. आइन्स्टाइनचे सूत्र परिशिष्ट ४ मध्ये दिले आहे.

❑❑

: ७ :

वस्तुमान व ऊर्जा

७.१ जडत्व व वस्तुमान

जडत्व हा सर्व वस्तूंचा स्वाभाविक गुण आहे. स्थिर वस्तू आपण होऊन भ्रमण करायला लागत नाही किंवा ती संथ, सरळ भ्रमण करीत असताना आपण होऊन भ्रमणाचा वेग वा भ्रमणाची दिशा बदलत नाही. कोणत्या तरी बाह्य अस्तित्वाचे बल जेव्हा तिच्यावर पडते, तेव्हाच तिच्या भ्रमणस्थितीत बदल होतो. एकच बल वेगवेगळ्या वस्तूवर पडले, तर त्या वस्तूंच्या प्रचलित भ्रमणस्थितीत वेगवेगळे बदल होतात; कारण वस्तूंचे जडत्व वेगवेगळे असते. अधिक जड वस्तूच्या भ्रमणस्थितीत कमी बदल होईल. एक किलोग्रॅम वस्तुमानाच्या वस्तूवर काही बल पडल्यास त्या वस्तूच्या भ्रमणस्थितीत जो बदल होईल, त्याच्या दुप्पट बदल अर्धा किलोग्रॅम वस्तुमानाच्या वस्तूच्या भ्रमणस्थितीत होईल. बाहेरील बल व भ्रमणातील बदल यांचा अन्योन्यसंबंध असतो. त्यापूर्वीच्या स्थिरतेशी वा भ्रमणाशी नाही.

वस्तूच्या जडत्वाचे 'मान' म्हणजे *वस्तुमान* व त्याचे एकक 'किलोग्रॅम' याची नोंद आपण मागील प्रकरणात घेतली आहे. दैनंदिन व्यवहारात वजन हा शब्द 'वस्तुमान' या अर्थी वापरला जातो. तथापि या दोन वेगळ्या संज्ञा आहेत, हे लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे. वस्तूचे 'वस्तुमान' म्हणजे तिच्या जडत्वाचे मान, परंतु 'वजन' म्हणजे तिच्यावर पडत असलेले पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणाचे बल. 'वजन' या अस्तित्वाचे एकक 'किलोग्रॅम' हे नाही. "माझे वजन साठ किलो आहे," असे आपण म्हणतो, त्याचा सत्यार्थ "माझे वस्तुमान साठ किलोग्रॅम आहे," हा असतो. वस्तू चंद्रावर नेली, तरी तिचे वस्तुमान तितकेच राहील, परंतु वजन पृथ्वीवरील वजनाच्या एकषष्ठांश भरेल. वस्तुमान हा वस्तूचा अंगभूत गुण आहे, वजन हा वस्तूचा गुण नसून बाहेरील

विशिष्ट परिस्थितीच्या परिणामाचे माप आहे.

वर गुरुत्वाकर्षणाचा निर्देश केल्यामुळे आणखी एका परंतु वेगळ्या प्रकाराच्या भिन्नतेचा उल्लेख करायला पाहिजे. पृथ्वीचे वस्तूवरील नैसर्गिक गुरुत्वाकर्षणीय बल त्या वस्तूच्या एका विशिष्ट गुणावर अवलंबून आहे, हा न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाचा एक भाग आहे. ऐतिहासिक काळात या विशिष्ट गुणधर्माला 'वस्तुमान' म्हणण्याची प्रथा पडली. तथापि जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान हे दोन गुणधर्म प्राय: एक आहेत, असे काही यावरून सिद्ध होत नाही. इतिहासात त्यांना एकच संज्ञा दिली गेली, एवढेच. वस्तुमानाचे एकक म्हणजे 'किलोग्रॅम', तेव्हा दोन्ही गुण मापले जाणार किलोग्रॅममध्ये. मग प्रश्न उत्पन्न होतो, एकाच वस्तूच्या 'जडत्वीय वस्तुमान' व 'गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान' यांची 'अमुक किलोग्रॅम व तमुक किलोग्रॅम' ही मूल्ये एकच आहेत की वेगवेगळी आहेत? हा प्रश्न केवळ व्यावहारिक नाही; त्यात गूढ अर्थ भरलेला आहे.त्याचा उपयोग आइन्स्टाइनने गुरुत्वाकर्षणाच्या आपल्या नवीन नियमाकरिता कसा करून घेतला, ते आपण पुढे दहाव्या प्रकरणात पाहणार आहोत.

जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान ही भिन्नता वस्तुमान व वजन या भिन्नतेहून वेगळी आहे. जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान मापण्याच्या पद्धतीवरून त्यांचे एकक एकच म्हणजे किलोग्रॅम आहे, हे प्रस्थापित (established) झाले. परंतु ती अस्तित्वे काही एकच नाहीत. असे आणखी उदाहरण हे की, दोन बिंदूंमधील अंतराचे व एखाद्या वस्तूच्या लांबीचे परिमाण 'मीटर' आहे, परंतु 'अंतर' व 'लांबी' ही अस्तित्वे काही एकच नाहीत. इतकेच काय, 'लांबी' व 'रुंदी' ही अस्तित्वेसुद्धा वेगळी आहेत. उलट 'वजन' व 'वस्तुमान' यांतील भिन्नता अगदी वेगळ्या प्रकाराची आहे. त्यांची एककेसुद्धा वेगळी आहेत.

समजा, एका वाहनाचे वस्तुमान १००० किलोग्रॅम भरले. वाहन स्थिर आहे किंवा काही वेगाने चालले आहे, यावर त्याचे वस्तुमान अवलंबून नसते; तसेच वेग कितीही असला, तरी वस्तुमान तेच राहते, असे आपण मानतो. यापुढे जाऊन आपण ऊर्जा ही संकल्पना निर्माण करतो. चालणाऱ्या वाहनात गतिज ऊर्जा असते म्हणजे कार्य करण्याची क्षमता असते. स्थिर वाहनात तशी क्षमता नसते, म्हणून आपण म्हणतो की, स्थिर वाहनात गतिज ऊर्जा नसते.

७.२ बाह्य बल व त्यामुळे वेग येणे

समजा, आपल्याजवळ एक वस्तू आहे व तिच्यावर पाहिजे तितका काल, पाहिजे त्या मूल्याचे बल पाडण्याची यंत्रणा आहे. काही बल पडताच तिला प्रवेग येईल म्हणजे तिचा वेग वाढायला आरंभ होईल. आपण प्रयोगसिद्ध तत्त्व जाणतो की –

प्रवेग = बल ÷ वस्तुमान

येथे व्याख्येप्रमाणे *वेग = प्रवेग × कालावधी*

जसाजसा काल जाईल, तसातसा वस्तूचा वेग वाढत जाईल. वेग वाढण्याकरता बलाचे मूल्य वाढविण्याची आवश्यकता नाही, हे लक्षात ठेवावे. बलाचे मूल्य तेच असले, तरी वेग वाढत जाईल; कारण वरील पहिल्या समीकरणाला अनुसरून काय जो असेल, तो प्रवेग असणारच. दुसऱ्या ओळीतील सूत्राला अनुसरून वेग वाढत जाणार. बल पडतच राहिले, तर वस्तूचा वेग वाढत वाढत यथाकाल प्रकाशाच्या वेगाच्या पुढे जाईल काय? वरील गणिताने "होय, जाईल," हे उत्तर येते; परंतु तसे होणे आता आपला दृढ विश्वास बसत चाललेल्या सापेक्षतावादाला अनुसरून नाही, तेव्हा ते होणार नाही, हे स्पष्ट आहे. नव्याने आपल्या पुढे आलेल्या या विसंगतीचा उलगडा करण्याआधी आणखी एक उदाहरण घेऊ.

एकाच आकाराचे गोलरूप दोन वेगळे चेंडू घेऊ. एक क्रिकेटच्या चेंडूसारखा जरासा जड व दुसरा लहान मुलांच्या खेळण्यातला प्लॅस्टिकचा अगदी हलका. आपल्या यंत्रणेने एकच मूल्य असलेले बल दोन्हीवर पाडता येईल. तसे केल्यावर चेंडूंना गती येईल. गतीवर परिणाम करणाऱ्या घर्षण, हवेचा अवरोध इत्यादी गोष्टी अस्तित्वात नाहीत, असे समजू. आपण बल पाडणार, ते काही एक टिचकी मारण्यासारखे नाही किंवा स्प्रिंगसारख्या साधनाने क्षणभरच पाडणार, असे नाही. जितका काल बल पाडायचे असेल, तितका काल ते पाडण्याची सुविधा असलेली आपली यंत्रणा आहे. असे आढळते की, विशिष्ट वेग – समजा १५ किमी/तास हा – येण्याकरता प्रचलित बल भारी चेंडूवर अधिक काल पाडायला लागेल. का, तर त्या चेंडूचे वस्तुमान अधिक असल्यामुळे त्याचा प्रवेग कमी असणार. ठरविलेला विशिष्ट वेग यायला प्रवेग अधिक काल राहिला पाहिजे व त्याकरता बल पडत राहायला पाहिजे. त्या आधी बल काढले, तर प्रवेग नष्ट होईल व ज्या वेगाला पोहोचल्यावर बल काढून घेतले, त्या (कमी) वेगाने चेंडू चालत राहील. बाह्य बलाविना भ्रमणस्थितीत बदल होत नाही म्हणजे आलेला वेग पुढे वाढणार नाही. हे सर्व विवेचन संक्षिप्त रूपात मांडणे सोपे आहे –

वेग = प्रवेग × कालावधी = (बल ÷ वस्तुमान) × कालावधी
कालावधी = वेग ÷ (बल ÷ वस्तुमान) = (वेग ÷ बल) × वस्तुमान

वस्तुमान जितके अधिक, तितका कालावधी अधिक लागतो. पुष्कळ काल बल पडत राहिले, तर वेग किती वाढेल? प्रकाशाच्या वेगापेक्षा अधिक? परंतु ते होणे म्हणजे प्रकाशवेग-तत्त्वाला बाधा, पुन्हा तीच विसंगती!

७.३ विसंगतीचे मूळ

वरील दोन्ही उदाहरणांत आपण विसंगत निष्कर्षांपर्यंत आलो, ते मूलतः वेगाचे परिगणन करण्याचे गॅलिलिओ-न्यूटनचे सूत्र वापरल्यामुळे. कसे ते पाहा. आपातत:

आपण *वेग = प्रवेग × कालावधी* या सूत्राचा उपयोग केला असला, तरी त्यात अभिप्रेत काय आहे, ते लक्षात घ्यायला पाहिजे. बाह्य बल असल्यामुळे एक सेकंद कालावधीनंतर वस्तूचा वेग काही एक असेल. पुढील एक सेकंदात तो जितका वाढेल, ते मूल्य आपण पहिल्या सेकंदानंतर आलेल्या वेगात मिळविणार. तिसऱ्या सेकंदानंतर तेच करणार इत्यादी. म्हणजे आपण गॅलिलिओ-न्यूटनचे साध्या बेरजेचे सूत्र वापरले. जोपर्यंत वस्तूंचे वेग प्रकाशाच्या वेगाच्या मानाने अगदी कमी आहेत, तोपर्यंत हे ठीक आहे. अधिकाधिक कालावधीसह वेग पुष्कळ वाढला की, आइन्स्टाइन सूत्राचा उपयोग करायला पाहिजे. त्या सूत्राप्रमाणे कोणताही वेग प्रकाशाच्या वेगापेक्षा कधीही वाढणार नाही.

आइन्स्टाइन सूत्रात काय अभिप्रेत आहे? वस्तूवर बल क्रियाशील असले, तरी तिचा वेग अपरिमित वाढू नये, यासाठी एकच गोष्ट व्हायला पाहिजे, ती म्हणजे प्रवेग कमी कमी होत राहिला पाहिजे (कारण कालप्रवाह थांबविणे आपल्या हाती नाही). ते कसे होऊ शकेल? वस्तूचे वस्तुमान सारखे वाढत राहिले, तरच. वस्तू तीच, तिच्यावर दुसरी वस्तू ठेवून आपण तिचे वस्तुमान वाढवायचे, असे नाही. तिचे वस्तुमान केवळ वेगामुळे वाढते, हा आणखी एक विचित्र भासणारा निष्कर्ष आइन्स्टाइनने दिला! परंतु विसंगती तर उकलली. सापेक्षतावादाचा उपयोग केल्यामुळे सर्व विसंगतींची सहज उकल होते, याचे हे आणखी एक उदाहरण म्हणायचे. वस्तूचा वेग प्रकाशाच्या वेगापर्यंत गेला, तर वस्तुमान किती होईल? अर्थात अनंत किलोग्रॅम, कारण त्यापुढे वेग वाढणे नाही. विशेष म्हणजे प्रकाशाच्या वेगाने चालणाऱ्या प्रत्येक वस्तूचे वस्तुमान अनंत किलोग्रॅम होईल.

७.४ वस्तुमान व ऊर्जा

§७.१च्या शेवटी ऊर्जा या संकल्पनेचा उल्लेख होता. चल वस्तूमध्ये ऊर्जा असते, कार्य करण्याची क्षमता असते. वेग वाढला की, ऊर्जा म्हणजे कार्यक्षमता वाढते. आताच संपलेल्या §७.३ मधील विवेचनाचा निष्कर्ष काय आहे, तर वस्तूचा वेग वाढला की, तिचे वस्तुमान वाढते. आइन्स्टाइनने हे दोन निष्कर्ष एकत्र केले व त्यांचे सार आणखी एका विचित्र भासणाऱ्या प्रतिपादनाने सांगितले. "वस्तुमान व ऊर्जा ही एकाच वास्तव अस्तित्वाची दोन रूपे आहेत." या प्रतिपादनाचा गहन अर्थ काय, हे पाहू या.

ऊर्जेची वेगवेगळी रूपे आहेत, हे आइन्स्टाइनच्या आधी माहीत होते. जसे यांत्रिक ऊर्जा, गुरुत्वाकर्षणीय ऊर्जा, विद्युत् ऊर्जा, चुंबकीय ऊर्जा, ध्वनी ऊर्जा, औष्णिक ऊर्जा, विद्युच्चुंबकीय ऊर्जा इत्यादी. सर्व प्रकार एकत्र करून वर्गीकरण करायचे असेल, तर गतिज ऊर्जा, स्थितीज ऊर्जा, क्षेत्रज ऊर्जा असे वर्ग करता येतात. यामध्ये 'वस्तुमान' हा ऊर्जेचा वर्ग आहे, असे अर्थात कधीही अभिप्रेत नव्हते. असायचे कारण नव्हते, असे म्हटले, तरी चालेल.

"वस्तूचा वेग वाढला की, तिची ऊर्जा वाढते" या आपल्या आइन्स्टाइनपूर्व वाक्यात संदर्भ आहे, तो केवळ गतिज ऊर्जेचा. वस्तू स्थिर असेल म्हणजे तिचा वेग शून्य किमी/सेकंद असेल, तर तिच्यात गतिज ऊर्जा नसणार.

आपल्या तिसऱ्या प्रकरणात विकसित केलेल्या सापेक्षतावादाच्या दोन तत्त्वांना अनुसरून आइन्स्टाइनने अनेक निष्कर्ष नव्याने काढले व त्यांची सूत्रेसुद्धा दिली, हे आपण पाहत आलो आहोत.

१. काही वेगाने जाणाऱ्या वस्तूची लांबी आकुंचन पावते.
२. काही वेगाने जाणाऱ्या वस्तूचे घड्याळ मागे जाते.
३. त्या वस्तूच्या सापेक्ष वेगाचे परिगणन करायला आइन्स्टाइन सूत्राचा उपयोग करायला लागतो.
४. त्या वस्तूचे जडत्वीय वस्तुमान वाढते.

येथे वाचनात खंड पडायला नको म्हणून ही सर्व सूत्रे जिज्ञासूकरता परिशिष्ट ४ मध्ये दिली आहेत.

आपण या प्रकरणात अभ्यासत असलेल्या वरील चौथ्या निष्कर्षाचे आइन्स्टाइन सूत्र अमुक एका वेगाने जाणाऱ्या वस्तूच्या 'संपूर्ण ऊर्जे'चे आहे. हेसुद्धा त्याला उमगले केव्हा? त्या सूत्राची उकल करताना म्हणजे १९०५मध्येच! उकलनांती आढळले की, त्या ऊर्जेचे मूलत: दोन भाग आहेत. एक भाग अर्थात गतिज ऊर्जा. ती असण्यात काही नवल नाही, कारण गॅलिलिओ-न्यूटनच्या स्थितिगतिविज्ञानात ती होतीच. दुसरा भाग वस्तू *स्थिर* असतानाच्या वस्तुमानाचा! वस्तू स्थिर असली, तसेच तिच्यात 'स्थितिज' (उदाहरणार्थ, वस्तू किती उंचीवर आहे) व 'क्षेत्रज' (उदाहरणार्थ, वस्तूवर विद्युत अथवा चुंबक अशा प्रकारच्या अस्तित्वांचा परिणाम असणे) ऊर्जा नसली, तरीही त्या वस्तूमध्ये अंगभूत ऊर्जा असते, हा आइन्स्टाइनचा नवा निष्कर्ष –

> *वस्तूची अंगभूत ऊर्जा* = *वस्तुमान* × (*प्रकाशाचा निर्वात अवकाशातील वेग*)^2
> $$E = m\,c^2$$

वरील चौकटीतील दुसऱ्या ओळीतले इंग्लिश सूत्र बहुतेकांना, अगदी विद्यालयीन मुलांनासुद्धा "ई इक्वल टु एम सी स्क्वेअर्ड" या शब्दांत मुखोद्गत असते, एवढेच नाही, तर नुसते 'आइन्स्टाइन' म्हटले की, तेच स्मरते! ज्या वेगाने वस्तू भ्रमण करीत आहे, त्या समयी असलेली – म्हणजे त्या समयीच्या वस्तुमानानुसार असलेली – 'अंगभूत ऊर्जा' या सूत्रात अभिप्रेत आहे. पारंपरिक 'गतिज' ऊर्जा काढण्याकरता तिचे विभाजन करावे की नाही, हा प्रश्न वेगळा. वेग प्रचंड असेल, तर तसे करणे चूकच आहे. दैनंदिन व्यवहारातील वेग असले तर प्रत्यवाय नाही. वस्तूचा वेग शून्य किमी/सेकंद असण्याच्या – म्हणजे ती स्थिर असण्याच्या – स्थितीतील वस्तुमानाला *स्थिर*

वस्तुमान ही संज्ञा आहे.

स्थिर वस्तूची स्थिर अंगभूत ऊर्जा पुढीलप्रमाणे आहे –

> *वस्तूची स्थिर अंगभूत ऊर्जा*
> = *स्थिर वस्तुमान* × (*प्रकाशाचा निर्वात अवकाशातील वेग*)^2
> $$E = m_0 c^2$$

वस्तुमान व ऊर्जा ही एकाच वास्तव अस्तित्वाची दोन रूपे आहेत, यावरून एक 'उपनिष्कर्ष' निघतो. तो हा की, या रूपांचे एकमेकांत परिवर्तन होऊ शकेल. हे अनेकविध सिद्ध झाले आहे. उदाहरणार्थ, सूर्याकडून व इतर ताऱ्यांच्याकडून आपल्याला मिळणारा दृश्य व अदृश्य प्रकाश, उष्णता इत्यादी गोष्टी याचेच द्योतक आहेत. सर्वांना माहीत असणाऱ्या आणखी काही गोष्टी म्हणजे परमाणू क्रियाधानी (जिला सामान्यत: 'अणुभट्टी' म्हणतात), अणुबॉम्ब, हायड्रोजन बॉम्ब, परमाणू क्रियाधानीवर चालणारी पाणबुडी, इ.

एक ग्रॅम बर्फाला उष्णता दिली, तर त्याचे पाणी होते. त्या पाण्याला आणखी उष्णता दिली की, त्याचे बाष्प होते. हे आपल्याला माहीत आहे. या प्रावस्था (phases) रूपांतरणात आइन्स्टाइनच्या वस्तुमान-ऊर्जा या निष्कर्षाचा संबंध नाही. बर्फ वा हिम असो, पाणी असो, बाष्प असो, वस्तुमान एक ग्रॅमच राहते. प्रावस्था घन, द्रव, वायू काही असो, पाण्याच्या व्यूहाणूंची संख्या तीच राहते. केवळ त्यांच्यातले आपापसातले संसंजन (cohesion) कमी होते. आइन्स्टाइनच्या वस्तुमान-ऊर्जा या निष्कर्षाचा संबंध केव्हा येईल? पाण्याच्या काही व्यूहाणूंचे रूपांतरण सर्वस्वी ऊर्जेत झाले – म्हणजे ते कण या रूपात न राहता कसल्या तरी ऊर्जारूपात प्रत्युत्पन्न (transformation) झाले, तर ते आइन्स्टाइनच्या वस्तुमान-ऊर्जा या निष्कर्षाप्रमाणे असे म्हणता येईल.

केवळ एक ग्रॅम (=एकसहस्रांश किलोग्रॅम) पाणी (किंवा कशाचाही एक ग्रॅम) सर्वस्वी ऊर्जारूपात प्रत्युत्पन्न झाले, तर किती ऊर्जा मिळेल?

> (एक ग्रॅम, 'किलोग्रॅम'मध्ये) × (प्रकाशाचा वेग, 'मीटर/सेकंद'मध्ये)^2
> = (*एक सहस्रांश किलोग्रॅम*) × (*३०,००,००,००० मीटर/सेकंद*)^2
> = २,५०,००,००० *किलोवॉट-तास तथा विद्युत् युनिट्स*

अडीच कोटी किलोवॉट-तास तथा विद्युत् युनिट्स! अर्थात असे करवण्याची प्रौद्योगिकी सांप्रत उपलब्ध नाही.

७.५ महत्त्वाची टिप्पणी

विशिष्ट सापेक्षतावादातील महत्त्वाचे सर्व निष्कर्ष आतापर्यंत आपण पाहिले. पुढे जाण्याआधी एक महत्त्वाची टिप्पणी करायला पाहिजे. सापेक्षतावादासंबंधी बहुतेक लोकांच्या मनामध्ये एक अपसमज असतो. तो हा की, "आइन्स्टाइनने सिद्ध केले की, विश्वामध्ये सर्व काही सापेक्ष असते." हे म्हणणे चूक आहे.

"भूमीच्या अपेक्षेने वाहन एका दिशेने चालले आहे" व "भूमी वाहनाच्या अपेक्षेने उलट्या दिशेने त्याच वेगाने चालली आहे," ही दोन्ही प्रतिपादने सुयोग्य आहेत, हे आपल्याला बाल्यावस्थेपासून माहीत असते! त्याकरता सापेक्षतावादाची आवश्यकता नाही. गॅलिलिओ-न्यूटनच्या स्थितिगतिविज्ञानात हे आहेच. आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाचे पहिले मूलभूत तत्त्व हे की, "नैसर्गिक चमत्कारांचे सिद्धांत व नियम सर्व जड अक्षप्रणालींमध्ये एकाच प्रकारचे व एकाच आकृतीबंधाचे असतात." विशेषेकरून "प्रकाशवेगाची सातत्यता व निरपेक्षता" हे प्रयोगसिद्ध प्रतिपादन त्याने सापेक्षतावादाचे दुसरे मूलभूत तत्त्व या नात्याने घेतले. या दोन तत्त्वांतून जे निघते, तो 'आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद'![१]

उदाहरणार्थ, प्रवासी महिलेच्या दृष्टीने प्लॅटफॉर्मची लांबी कमी झालेली दिसते, तर त्यावर उभ्या असलेल्या स्थानकप्रबंधकाच्या दृष्टीने रेलगाडीची लांबी कमी दिसायलाच पाहिजे. प्रवासी महिलेचे घड्याळ विलंबाने चालते, असे प्रबंधकाला दिसले, तर त्याचे घड्याळ विलंबाने चालते, असे तिला दिसायलाच पाहिजे, इत्यादी.

असा आहे आइन्स्टाइनचा विशिष्ट सापेक्षतावाद!

□□

१. निवेदनात प्रभाकर पाध्ये यांच्या 'सौंदर्यानुभव' या ग्रंथाचा उल्लेख आला आहे. आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादाच्या सौंदर्यशास्त्रावर झालेल्या परिणामाचे विवेचन त्यांनी पुष्कळ ठिकाणी केले आहे. ते अवश्य पाहावे. त्यामध्ये "आइन्स्टाइनच्या सापेक्षतावादानुसार सर्व सापेक्ष असते," हेच प्रतिपादन केले आहे. हे कसे चूक आहे व सापेक्षतावादाने काय साधले, यासंबंधी मी त्यांना एक लांबलचक पत्र वरीलप्रमाणे लिहिले. "मला हे माहीत नव्हते. पुढील आवृत्तीत अचूक लिहीन," असे त्यांचे उत्तर आले होते. दुसरी आवृत्ती निघायच्या आत त्यांना मृत्यू आला. सौंदर्यशास्त्रावरील अनेक इंग्लिश ग्रंथांतसुद्धा ही चूक आढळते.

: ८ :

ऑल्बर्ट आइन्स्टाइन (१८७९-१९५५)
चरित्र, कार्य व व्यक्तिमत्व

ऑल्बर्ट आइन्स्टाइनच्या व्यक्तिमत्त्वाने १९०५-१९५५ हे अर्धशतक संपूर्ण जगाला भारून टाकले होते. त्या अवधीत दोन जागतिक महायुद्धे झाली. पहिल्यात तो प्रत्यक्ष जर्मनीत होता, दुसऱ्यात तो अमेरिकेत होता. आइन्स्टाइनच्या विचारविश्वात व सक्रिय जीवनात विज्ञान एवढे एकच क्षेत्र नव्हते. तत्त्वज्ञान, समाजकारण, राजकारण, मानवी अधिकार, शिक्षण, जागतिक घटना, इतिहास, अध्यात्म, धर्म इत्यादींतसुद्धा त्याला रस होता व त्यावर तो भाष्य करीत असे. अशा व्यक्तीचे जीवन बहुरंगी व नाट्यपूर्ण असणार, हे उघड आहे. त्यामुळे त्याच्याविषयी अनेक वदंताही प्रचलित होत्या व आहेत. साधारण मानवी व्यक्तीप्रमाणे त्याच्यातही गुणावगुण होते. विविध पैलू असलेल्या त्याच्या जीवनातील ठळक भाग आपण पाहणार आहोत.

८.१ जन्म व बाल्य

१४ मार्च १८७९ या दिवशी सकाळी ११.३० वाजता जर्मनीतील उल्म या गावी एका सुखवस्तू यहुदी परंतु नास्तिक कुटुंबात ऑल्बर्टचा जन्म झाला. हे कुटुंब सिनॅगॉगमध्ये जात नसे. ऑल्बर्टच्या पित्याचा विद्युत् साधनांचा कारखाना होता. काही दिवसांतच आइन्स्टाइन कुटुंबाने म्युनिकला स्थलांतर केले. ऑल्बर्ट उशिराने वयाच्या तिसऱ्या वर्षी बोलायला लागला. विद्यालयात तो 'ढ' होता, हे संपूर्ण असत्य आहे. जर्मनीतील त्या समयीच्या ताठर शिक्षणपद्धतीचा व विद्यालयातील सैनिकी अनुशासनाचा त्याला किशोरवयापासून तिटकारा होता. वयाच्या चौदाव्या वर्षी त्याने शिक्षकाला "आपण प्रकाशकिरणावर बसून प्रवास केला, तर काय होईल?" असे विचारल्यावर शिक्षक रागावला! मुख्याध्यापकाने ऑल्बर्टच्या पित्याला पत्र लिहिले, "तुमच्या पुत्राला

या विद्यालयातून काढून घ्या. त्याच्या अनेकविध प्रश्नांमुळे वर्गामध्ये गोंधळ उडतो.'' ''ऑल्बर्टचे काय करू?'' असे पित्याने विचारले, तेव्हा मुख्याध्यापक म्हणाला, ''वाटेल ते करा. तुमच्या पुत्रात काही अर्थ नाही. आयुष्यात त्याच्या हातून काहीही होणार नाही.'' याच काळात ऑल्बर्टच्या काकाने त्याला भूमितीची व मामाने विज्ञानाची अधिक गोडी लावली.

ऑल्बर्टच्या आईने त्याला त्याच्या चौथ्या वर्षापासून व्हायोलिन वाजवायला शिकविले. त्यामध्ये त्याने अल्पावधीत नैपुण्य मिळविले. पुढील जीवनात एखादी समस्या उकलेनाशी झाली की, तो व्हायोलिन वाजवीत बसे. संगीताने त्याच्या मनाला शांती मिळते, असे त्याने अनेकदा लिहिले. मृत्यूच्या सहा वर्षे आधी रुग्णालयातून घरी आल्यावर यापुढे व्हायोलिन वाजविणे शक्य होणार नाही, ते हातात धरताच येणार नाही, याचे त्याला वाईट वाटे. तेव्हा तो आपला ग्रँड पिआनो वाजवत बसे.

८.२ तारुण्य व प्रसिद्धी

जर्मनीतील उद्योगात विशेष प्राप्ती होत नसल्यामुळे आइन्स्टाइन कुटुंबाने ऑल्बर्टच्या सोळाव्या वर्षी इटलीतील मिलान येथे स्थलांतर केले, परंतु शिक्षणाकरता त्याला म्युनिकमध्येच मामाकडे ठेवले. जर्मन शिक्षणपद्धतीचा त्याला इतका तिरस्कार वाटू लागला होता की, त्याने आपण होऊन जर्मन नागरिकत्वाचा त्याग केला व स्वित्सर्लंडमधील त्स्यूरिकच्या 'इ. टी. एच.' या प्रख्यात विज्ञानसंस्थेमध्ये नाव घालून अभ्यास चालू केला. १९०० मध्ये तो ६ पैकी ४.९१ गुण मिळवून स्नातक झाला. काही काळ त्याने शिकवण्या करून निर्वाह केला. १९०३ मध्ये त्याला 'तंत्रविज्ञान अधिकारी (तृतीय श्रेणी)' या पदावर बर्नच्या स्विस पेटंट कार्यालयात नेमले गेले. त्याने आवेदनपत्र लिहिले होते 'द्वितीय श्रेणीकरता'! व्यूहाणूसंबंधीच्या प्रबंधाला १९०५ मध्ये त्याला विद्यावाचस्पती (PhD) ही पदवी मिळाली. आइन्स्टाइनच्या या 'नवलपूर्ण एका वर्षातील' क्रांतिकारक वैज्ञानिक कार्य या प्रकरणात पुढे आपण पाहणार आहोत.

१९०८ मध्ये बर्न विद्यापीठाने आइन्स्टाइनला 'विनावेतन शिक्षक' (privat dozent) नेमले. कधी नव्हत विद्यार्थी शिकायला आले, तर शुल्क देत. पुढील वर्षी त्स्यूरिकच्या 'ई टी एच.' मध्ये त्याला प्राध्यापक नेमले. १९११ मध्ये सैद्धांतिक भौतिकी प्राध्यापक हे पद प्राग विद्यापीठातून मिळून तो तिथे गेला, परंतु एकाच वर्षाने तशा पदावर त्स्यूरिकला परतला. १९१४ मध्ये बर्लिनला प्रुशिअन अकॅडमी ऑफ सायन्सेसने 'कैसर विल्हेल्म संशोधन संस्था' स्थापून आइन्स्टाइनला तिचा निदेशक नेमले. अशा प्रकारे त्याला प्रसिद्धी मिळून तो मानाने जर्मनीला परतला, त्यावेळी त्याला दोन देशांचे नागरिकत्व होते. पुढील दोन वर्षात त्याने 'सामान्य सापेक्षतावाद' हा दुसरा क्रांतिकारक सिद्धांत पूर्ण केला. या अथक बौद्धिक ताणामुळे

त्याला काही महिने 'नर्व्हस ब्रेकडाउन' झाला; परंतु त्यातून तो लवकर पूर्ण बाहेर आला व इतर संशोधन चालू राहिले.

८.३ विज्ञानबाह्य कार्य

पहिले महायुद्ध संपल्यानंतर जर्मनीत नात्सीवादाचा उगम व प्रसार झाला. त्याला आइन्स्टाइन सक्रिय प्रखर विरोध करीत असल्यामुळे त्याची काही सार्वजनिक व्याख्याने हिटलरच्या 'काळा कुडता'धारी अनुयायांनी उधळून टाकली. 'लीग ऑफ नेशन्स'च्या आंतरराष्ट्रीय सहकार्य समितीचा त्याला सदस्य करून घेण्यात आले. कम्युनिस्टांनी भरविलेल्या शांतता परिषदेच्या पत्रिकेवर स्वाक्षरी करून त्याने पाठिंबा दाखविला. ''म्हणजे तू कम्युनिस्ट आहेस,'' असा आरोप करणाऱ्यांना त्याने ठासून सांगितले, ''परिषद जागतिक शांततेसाठी आहे, हे पाहून मी पाठिंबा दिला. आयोजकांचे घरचे तत्त्वज्ञान काय आहे, या प्रश्नाशी मला कर्तव्य नव्हते.'' या कालापर्यंत त्याचा सामान्य सापेक्षतावाद प्रयोगसिद्ध होऊन त्याची आंतरराष्ट्रीय ख्याती अत्युच्च स्तरावर पोहोचलेली असल्यामुळे सभा-व्याख्याने उधळण्यापलीकडे अधिक काही झाले नाही. तशात त्याला १९२१चा भौतिकी नोबेल पुरस्कार मिळाला.

पुढील दशकभर आइन्स्टाइनला जगभर निमंत्रणे येत असल्यामुळे त्याने जगभर प्रवास केला. विज्ञानावर व्याख्याने तर दिलीच, विशेष म्हणजे जागतिक शांतता-प्रक्रिया परिणामकारक होण्याकरता प्रचारही केला. १९३३मध्ये हिटलर जर्मनीत सत्तेवर आल्यावर आइन्स्टाइनने जर्मन नागरिकत्व सोडल्याची घोषणा केली. नात्सी शासनाने त्याचे घर, ग्रंथसंग्रह, शिडाची बोट इत्यादी जप्त केले. त्याला ठार मारण्याकरीता लाइबस नावाच्या माणसाला नेमले.

त्याच्यासाठी अमेरिकेतील प्रिन्स्टन विद्यापीठाने १९३३ मध्ये 'प्रगत संशोधन संस्था' स्थापन केली व तो तेथे स्थायिक झाला. १९४० मध्ये त्याला अमेरिकन नागरिकत्व मिळाले. १९३९ मध्ये त्याने अमेरिकेच्या राष्ट्रपतीला (फ्रँकलिन रूझवेल्टला) पत्र लिहून नात्सींनी अणुबॉम्ब बनविला तर जगाचा संहार होईल तेव्हा अमेरिकेने तो बनविण्यात पुढाकार घ्यावा असे पत्र लिहिले. त्याप्रमाणे झाले. ऑगस्ट १९४५ मध्ये पहिले दोन बॉम्ब जपानवर टाकले गेले. तो इतिहास आता सर्वांना ज्ञात आहे. १९५५ मध्ये त्याचा मृत्यू झाल्यावर त्याच्या इच्छेला अनुसरून लगलीच दहन केले गेले. रक्षापखरण कोठे केले, हे अज्ञात आहे. १९३३-१९५५ या कालातील प्रिन्स्टनमधील त्याचे '११२ मर्सर मार्ग' हे राहते घर कोणा व्यापाऱ्याने विकत घेतले. त्या स्थानी आइन्स्टाइनचे स्मारक इत्यादी काही नाही. इच्छापत्राप्रमाणे आइन्स्टाइनची ग्रंथसंपदा, पत्रव्यवहार, कागदपत्रे, प्रकाशित व अप्रकाशित लिखाण हे सर्व जेरुसलेममधील येहिवा विद्यापीठाला देण्यात आले.

८.४ विवाह, अपत्ये व वैवाहिक समस्या

१९०३ मध्ये आइन्स्टाइनने वर्गमैत्रीण मिलेवा मारिकशी विवाह केला. त्यांना विवाहपूर्व एक कन्या झाली होती. तिच्या जन्माकरिता मिलेवा माहेरी गेली. जन्मत:च तिला मिलेवाच्या देशात (म्हणजे आताच्या सर्बिआत) अनाथाश्रमात ठेवले गेले. पुढे तिचे काय झाले; याविषयी माहिती उपलब्ध नाही. ते अपत्य मिलेवाला नको होते, असे म्हणत असत; परंतु पक्के माहीत नाही. विवाहोत्तर त्यांना दोन पुत्र झाले. त्यांतील ज्येष्ठ हान्स पुढे अमेरिकेतील कॅलिफोर्निआ विद्यापीठात संरचना अभियांत्रिकीचा प्राध्यापक झाला. कनिष्ठ पुत्र एडुआर्ड पहिल्यापासून छिन्न मन:स्थितीचा रुग्ण होता व अनेक वर्षांनी मनोरुग्णालयातच मृत्यू पावला. मातेशी विवाहविच्छेद केला असल्यामुळे दोघा पुत्रांचे पित्याशी सख्य असे निर्माण झाले नाही.

हा विवाह पहिल्यापासून समस्याग्रस्त होता व त्यातून दोघांनाही शाश्वत सुख लाभले नाही. या काळात ऑल्बर्टच्या एक-दोन विवाहबाह्य प्रेयसीसुद्धा होत्या, अशी वदंता तेव्हाही होती. १९१४ मध्ये मिलेवा पुत्रांना घेऊन वेगळे राहण्याकरता त्स्यूरिकला परतली. त्यानंतर ऑल्बर्टची विवाहविच्छेदित, दोन कन्या असलेली, तीन पिढ्या दूरची भगिनी एल्सा त्याच्याजवळ राहायला लागली असूनसुद्धा मिलेवाने विवाहविच्छेदाला मान्यता दिली नाही. तिचा व पुत्रांचा आर्थिक भार ऑल्बर्ट वाहत होता. त्याचे 'सामान्य सापेक्षतावाद व गुरुत्वाकर्षण' हे महत्तम कार्य १९१६ मध्ये प्रकाशित झाले. १९१८ मध्ये ऑल्बर्ट-मिलेवा यांच्या एक-दोन मित्रांनी वैधिक विवाहविच्छेद होऊन दोघांचे वेगळे जीवन शक्य तितके सुसह्य व्हावे, या उद्देशाने सुचविले की, ऑल्बर्टला पुढे-मागे अवश्य मिळणार असणाऱ्या नोबेल पुरस्काराचा निधी त्याने आतापासून मिलेवाच्या नावे करावा. यामुळे पुत्रांचे संगोपन, शिक्षण इत्यादी ती विनासायास करू शकेल. ॲल्बर्टचा आत्मविश्वास व औदार्य असे की, त्याने लागलीच तसे लिहून दिले. अर्थात् तोपर्यंत मिलेवा व पुत्रांचा आर्थिक भार त्यानेच सांभाळला. १९२१चा नोबेल पुरस्कार १९२२मध्ये मिळाल्यावर सर्व निधी जशाचा तसा त्याने मिलेवाला पाठविला. असुखी वैवाहिक जीवनात कोणाचा दोष किती, हे सांगणे अशक्यप्राय असते; परंतु मिलेवा प्रखर बुद्धिमान असून चमत्कारिक स्वभावाची होती, असे वर्णन वर्गमित्रांनी केले होते. अनेक वर्षांनी १९४८ मध्ये मिलेवाला प्रथमपासून असलेल्या क्षयरोगाने मृत्यू आला. ऑल्बर्टची दुसरी पत्नी एल्सा १९३६ मध्ये मरण पावली होती.

आइन्स्टाइनच्या असुखी प्रथम वैवाहिक जीवनाचा इतिहास संपवण्यापूर्वी दोन गोष्टींचा निर्देश करायला पाहिजे. मिलेवा बुद्धिमान गणितज्ज्ञ होती व आइन्स्टाइन आपल्या कार्याची चर्चा तिच्याशी करीत असे, हे खरे आहे. सापेक्षतावादाच्या विकासात तिचा विशेष सहभाग होता, हे सिद्ध करण्यासाठी अलीकडे स्त्रीस्वातंत्र्यवाद्यांनी यत्न केले असले, तरी त्याच्या कल्पनांचे श्रेय तिला देण्यासारखे त्या चर्चांतून निष्पन्न झाले नव्हते, हेच सिद्ध झाले आहे. तसे म्हटले, तर प्रत्येक सायंकाळी एका कॅफेमध्ये कॉफी

घेत वैज्ञानिक मित्रांशीसुद्धा आइन्स्टाइन आपल्या कल्पनांची चर्चा करीत असे. हा विषय आता इतिहासातूनसुद्धा गेला आहे. दुसरे हे की, १९१४ मध्ये एल्साशी संपर्क झाल्यावर ऑल्बर्टचे जीवन सुखावह झाले, असे दिसते. १९०३-०५ या पुढील काही काळ गोठलेली प्रतिभा १९१४ पुढील काळात पुन्हा फुलली व १९१६मध्ये सामान्य सापेक्षतावाद साकारला.

८.५ १९०५ मधील पाच क्रांतिकारक निबंध

१९०५ या एकाच वर्षी बर्न पेटंट कार्यालयातील केवळ २६ वर्षीय तरुणाचे पाच निबंध प्रकाशित झाले. या निबंधांनी केलेल्या क्रांतीशी तुलना होईल अशी दुसरी क्रांती तोपर्यंत झाली नव्हती व आजपर्यंत झालेली नाही.

८.५.१ ब्राउन हालचाल

१८५०च्या आसपास इंग्लिश वनस्पतीविज्ञानज्ञ ब्राउन याला फुलांच्या परागांचा अभ्यास करताना सूक्ष्मदर्शकात दिसले होते की आपातत: काहीही कारण नसताना पराग मधूनच एका जागेवरून दुसरीकडे उड्या मारून जातात. याचे स्पष्टीकरण आइन्स्टाइनने दिले की, ज्या द्रवात पराग तरंगत आहेत, त्या द्रवाचे व्यूहाणू परागांच्यावर सर्व बाजूंनी सारखे आदळत असल्यामुळे पराग साधारणत: स्थिर राहतात. तथापि मधूनमधून असा क्षण येतो की, एखाद्या परागावर एका बाजूने आदळत असलेल्या व्यूहाणूंची सामूहिक गती विरुद्ध बाजूने आदळणाऱ्या व्यूहाणूंच्या सामूहिक गतीपेक्षा अधिक वेगवान होते. तत्क्षणी तो पराग उडी मारून दुसऱ्या स्थानी जातो व तसा क्षण पुन्हा येईपर्यंत स्थिर राहतो. सर्व परागांचे असे होत राहते. कोणता पराग कोणत्या क्षणी उडी मारेल, याची केवळ संभवनीयता (probability) वर्तविता येते. आइन्स्टाइनने नवीन संकल्पना रचून संभवनीयता विज्ञानाच्या आधारे ब्राउन हालचालीचे संपूर्ण परिगणन दोन निबंधात केले. एकोणिसाव्या शतकाच्या प्रारंभापासून परमाणू व व्यूहाणू या संकल्पना निघाल्या होत्या व अनेक चमत्कारांची उकल झाली होती, हे खरे; परंतु मूलभूतदृष्ट्या या कणांचे अस्तित्व 'एक तार्किक अनुमान' अशाच स्वरूपाचे होते. ब्राउन हालचालीच्या आइन्स्टाइनने दिलेल्या स्पष्टीकरणाने त्यांच्या अस्तित्वाचे प्रत्यक्ष प्रमाण मिळाले.

८.५.२ प्रकाशविद्युत् परिणाम

१८८०च्या आसपास हालवाक्स या जर्मन वैज्ञानिकाला आढळले की, धातूच्या पृष्ठभागावर नील किंवा अतिनील प्रकाश पडला की त्यातून ऋणाणू निघतात. मॅक्सवेलच्या सिद्धांतावरून निघालेल्या विद्युच्चुंबकीय प्रकाशतरंग या संकल्पनेच्या आधारे याचे स्पष्टीकरण मिळत नव्हते. १९०० मध्ये माक्स प्लांकने काढलेल्या ऊर्जापुंज या कल्पनेचा उपयोग करून आइन्स्टाइनने हालवाक्स परिणामाचे संपूर्ण

स्पष्टीकरण दिले, एवढेच नाही, तर प्रकाशाच्या ऊर्जापुंज या पर्यायी रूपाची संकल्पना निर्माण केली. जी. एन्. ल्युइस या अमेरिकन वैज्ञानिकाने १९२५मध्ये प्रकाशाच्या ऊर्जापुंजाला दिलेले *फ़ोटॉन* ('प्रकाशपुंज') हे नाव तुरंत सर्वत्र प्रचलित झाले. प्रकाश या अस्तित्वाची 'विद्युच्चुंबकीय तरंग' व 'ऊर्जापुंज' ही दोन रूपे एकमेकाशी विसंगत असूनही एकमेकांना पूरक आहेत, हे सर्वमान्य होऊन दशके लोटली आहेत.त्यांचे एकमेकातील नाते स्पष्ट करण्याचे यत्न चालू आहेत. जीवनाची शेवटची काही वर्षे आइन्स्टाइनने स्वत:सुद्धा यत्न केले.

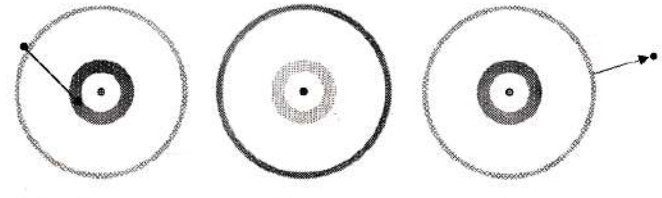
८.५.३ विशिष्ट सापेक्षतावाद

या प्रकरणाच्या आधीची सात प्रकरणे विशिष्ट सापेक्षतावादावर आहेत. वस्तुत: त्याकरताच तर या पुस्तकाचा प्रपंच केला आहे. १९०५मध्ये आइन्स्टाइनने यावर दोन निबंध लिहिले.

असे हे पाच क्रांतिकारक निबंध, केवल सव्वीस वर्षीय तरुणाचे! विज्ञानाच्या संपूर्ण इतिहासात अशी घटना घडली नव्हती व यापुढे घडण्याचा संभव नाही. वयाची पाच वर्षे पूर्ण होण्याआधी मोत्सार्टने सिंफनी निर्माण केल्या व केवळ पंधराव्या वर्षी हिरा बडोदेकरने अलाहाबाद संगीत संमेलन गाजविले, तसे आजपर्यंत झालेले नाही, हाच प्रकार येथे आहे. ज्ञानेश्वराने केवळ सोळाव्या वर्षी ज्ञानेश्वरी लिहिली, हे खरे असेल, तर असेच आहे. अर्थात भविष्यात काय होईल, हे विश्वासपूर्वक सांगता येत नाही म्हणा!

८.६ सामान्य सापेक्षतावाद व गुरुत्वाकर्षणसिद्धांत (१९१६)

आइन्स्टाइनच्या कार्यात सर्वांत क्रांतिकारक म्हणजे विशिष्ट सापेक्षतावाद व साधारण एका दशकानंतर दिलेला 'सामान्य सापेक्षतावाद' हे, त्याकाळीसुद्धा उघड होते. (दहाव्या प्रकरणात आपण सामान्य सापेक्षतावाद व गुरुत्वाकर्षणसिद्धांत अभ्यासणार आहोत.) तथापि १९२२मध्ये आइन्स्टाइनला दिलेला १९२१चा नोबेल पुरस्कार त्या मानाने कमी महत्त्वाच्या प्रकाशविद्युत् परिणामाच्या स्पष्टीकरणाकरता होता. नोबेल प्रतिष्ठानाच्या या निर्णयाचे गूढ ('गौडबंगाल'च म्हणायला पाहिजे!) प्रयत्न करून अजून उकललेले नाही. परंतु ख्रिश्चनधर्मप्रणीत आध्यात्मिकतेला सापेक्षतावादातून निघणारे तत्त्वज्ञान मान्य नव्हते, याला अनुसरून हा निर्णय घेण्यात आला, असे मत त्या काळापासून अनेक जबाबदार व्यक्तींनी व्यक्त केले आहे. दोन्ही सापेक्षतावादांनी मानवी विचारांना व जीवनाला दिलेली चालना यायोगे नाकारली गेली. मानवी मानसिकतेवर धर्माचा पगडा किती दृढ असतो, हे यावरून दिसून येते. १९०५मधील कार्याकरता इतक्या वर्षांनी पुरस्काराचा निर्णय घेणे विचित्र दिसते. उलट १९१६मध्ये काढलेला गुरुत्वाकर्षणसिद्धांत १९१९-२०मध्ये प्रयोगसिद्ध होताच तो निर्णय घेतला गेला! तथापि पुरस्कारपत्रात तसे स्पष्ट म्हणणे नोबेल प्रतिष्ठानाला सोयीचे नव्हते, असे दिसते.



आकृती ११.१ आकृती ११.२ आकृती ११.३

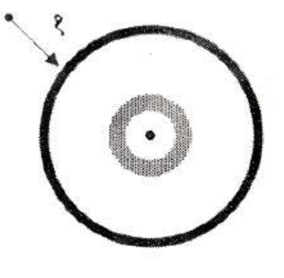
८.७ 'लेझर'मधील मूलभूत संकल्पना (१९१७-१८)

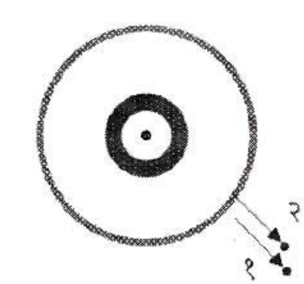
'लेझर' (Laser) म्हणजे Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation यातील आद्याक्षरांनी बनलेला शब्द.

अणू असो, व्यूहाणू असो, त्यांनी बनलेला घन वा द्रव पदार्थ असो, त्याची प्रकाशाशी अनेकविध अन्योन्यक्रिया (interaction) होते. लेझरक्रिया समजण्याकरीता आपण एक अणू व एक प्रकाशपुंज यांची अन्योन्यक्रिया पाहू (आकृती ११.१). प्रकाशपुंजाची अणूशी टक्कर झाली, तर अणू त्याला शोषून घेईल, ज्यायोगे अणूची अंगभूत ऊर्जा वाढेल (आकृती ११.२). या क्रियेला प्रेरित शोषण (stimulated or induced absorption) म्हणतात; ऊर्जा वाढलेल्या स्थितीत जाण्याची प्रेरणा अणूला प्रकाशपुंजाकडून मिळाली. काही काळाने (सहसा सेकंदाचा सहस्रांश) अणू कमी ऊर्जेच्या स्थितीला जाईल, कारण ती जड पदार्थाची स्वाभाविक प्रवृत्ती असते. ते होताना मुळातील शोषित प्रकाशाची ऊर्जा अनेक प्रकारांनी बाहेर पडू शकते. ती प्रथम शोषिलेल्या प्रकाशपुंजाच्या रूपाने बाहेर पडू शकते (आकृती ११.३). या क्रियेला उत्स्फूर्त उत्सर्जन (spontaneous emission) हे नाव दिले आहे. 'उत्स्फूर्त' अशासाठी की, हे होण्याचे कारण अणूची स्वाभाविक प्रवृत्तीच ती आहे. तथापि कोणत्या क्षणी अणू ते करेल, प्रकाशपुंज कोणत्या दिशेने बाहेर येईल किंवा ही क्रिया होईल वा नाही, हे आपल्याला सांगता येत नाही; परंतु ती झाल्यावर अणू पहिल्या स्थितीत येतो व प्रकाशपुंज आपल्याला परत मिळतो. या औपचारिक आकृत्यांमध्ये दाखविलेली वलये म्हणजे अणूची वेगवेगळी ऊर्जास्थिती. मध्यभागी अणुकेंद्रक आहे. या दोन्ही अन्योन्यक्रिया १९१०च्या आसपास बोह्‌रने काढलेल्या संकल्पना होत. यांमध्ये आइन्स्टाइनच्या १९०५च्या 'प्रकाशपुंज' या संकल्पनेचा प्रत्यक्ष उपयोग केलेला आहे.

हे सर्व काही वर्षे माहीत होते व ते वापरून अणू-व्यूहाणूंमधून निरनिराळ्या स्थितीमध्ये उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाचा अभ्यास जगभरातील अनेक वैज्ञानिक अत्यंत बारकाईने करीत होते. १९१७मध्ये आइन्स्टाइनने काढलेली क्रांतिकारक संकल्पना याच्या पुढे आहे.

अणू जर काही कारणाने आधीच अधिक ऊर्जेच्या स्थितीमध्ये असेल व त्यावर





आकृती १२.१ आकृती १२.२

सुयोग्य ऊर्जेचा प्रकाशपुंज पडला, तर काय होईल? हे आकृती १२ मध्ये दाखविले आहे. अणू अधिक ऊर्जेच्या स्थितीत जाणे ज्या अनेक प्रकारांनी होऊ शकते, त्यांचे विवेचन येथे करण्याचे प्रयोजन नाही. अणू अधिक ऊर्जेच्या स्थितीत अतिशय कमी काळ राहात असल्यामुळे बाहेरून कोठून तरी येणारा प्रकाशपुंज तेवढ्या अवधीत यायला पाहिजे (आकृती १२.१). याची संभवनीयता सूक्ष्म असली, तरी शून्य नसते, हे आइन्स्टाइनने प्रतिपादन केले. आइन्स्टाइनची त्या पुढील नावीन्यपूर्ण कल्पना ही की, अणू अधिक ऊर्जेच्या स्थितीतून कमी ऊर्जेच्या स्थितीत जाण्याने जी ऊर्जा मिळते, त्याच ऊर्जेचा प्रकाशपुंज टक्कर द्यायला आल्यामुळे सस्पंदन (resonance) होऊन अणूमधून एक प्रकाशपुंज उत्सर्जित होऊ शकेल (प्रकाशपुंज क्रमांक २, आकृती १२.२). एवढेच नाही, तर त्याची ऊर्जा, त्याचा संवेग इत्यादी गुणधर्म प्रेरणा देणाऱ्या क्रमांक १ या मुळातील प्रकाशपुंजाप्रमाणेच तंतोतंत असणार. या क्रियेला आइन्स्टाइनने प्रेरित उत्सर्जन (stimulated emission) हे नाव दिले. म्हणजे झाले काय की, या क्रियेमुळे मुळातील एकाच्या जागी दोन प्रकाशपुंज मिळाले. एखाद्या विद्युन्विमोचन (fluorescent) दिव्यासारख्या योग्य रचनेच्या उपकरणांत प्रेरित उत्सर्जन होत राहिले, तर दोनांच्या जागी चार, चारांच्या जागी आठ, असे अनेक व तंतोतंत एकसारखे असणारे प्रकाशपुंज मिळत राहतील. हीच आजची लेझरक्रिया. पहिला लेझर आइन्स्टाइनच्या कल्पनेनंतर चाळीस वर्षांनी बनविला गेला. लेझर बनविण्यासाठी व लेझरक्रिया संपूर्ण स्पष्ट करण्यासाठी १९६४ मध्ये अमेरिकन वैज्ञानिक चार्ल्स टाउन्स व सोविएट वैज्ञानिक निकोलाय बसॉव व अलेक्झांद्र प्रॉखरोव यांना नोबेल पुरस्कार मिळाला. आइन्स्टाइन दहा वर्षे अधिक जगता, तर त्याचेही नाव त्यांच्यासह आले असते.

८.८ प्रकाशपुंज सांख्यिकी

१९२४मध्ये आइन्स्टाइनला एका तरुण वैज्ञानिकाचा एक निबंध व त्यासह पत्र आले की १९००मध्ये ऊर्जापुंजांविषयी माक्स प्लांकने व्युत्पन्न केलेल्या 'प्लांक सूत्र'

असे नामाभिधान असलेल्या सूत्राची व्युत्पत्ती त्याने सांख्यिकी पद्धतीने केली आहे; परंतु ती अचूक आहे की नाही, याविषयी त्याच्याच मनात संदेह आहे. तेव्हा कृपया आइन्स्टाइनने ते सर्व लिखाण वाचून मत द्यावे. आइन्स्टाइनने निबंध वाचला, दुरुस्ती करून मुद्रणाकरता पाठविला, एवढेच नाही, तर त्या वैज्ञानिकाला न सुचलेले तात्पर्य काढून स्वत:चा नवीन निबंधही नंतर प्रसिद्ध केला. त्यामध्ये आइन्स्टाइनने प्रकाशपुंज सांख्यिकीला अनुसरून असलेल्या अणुसदृश जड कणांचा वायू कल्पून त्याचे द्रवीकरण कसे होऊ शकेल, याचे विवरण त्या वैज्ञानिकाच्या पद्धतीने केले.

तो तरुण म्हणजे ढाक्याचा भारतीय वैज्ञानिक सत्येन्द्रनाथ बोस! प्रकाशपुंजांच्या सांख्यिकीला 'बोस-आइन्स्टाइन ऊर्जापुंज सांख्यिकी' व द्रवीकरणाला 'बोस-आइन्स्टाइन द्रवीकरण' अशा संज्ञा आहेत. हे सांख्यिकी लागू पडणारे प्रकाशपुंजाव्यतिरिक्त आणखी काही कण आहेत; अर्थात हा विकास नंतरचा. बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी लागू पडणाऱ्या ऊर्जापुंजांना *बोझॉन* म्हणतात. काही कणांना (उदाहरणार्थ, ऋणाणू, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन इत्यादी) बोस-आइन्स्टाइन सांख्यिकी लागू पडत नाही. त्यांना 'फर्मी-डिराक सांख्यिकी' लागू पडते, त्यांना नाव आहे *फर्मिऑन*. येथे आपला त्यांच्याशी संबंध नाही. ही नावे डिराकने दिली.

अलीकडील पाचएक वर्षांत बोस-आइन्स्टाइन द्रवीकरण लेझरच्या साहाय्याने करण्यात यश आले आहे व त्यासाठी नोबेल पुरस्कार दिला गेला आहे. आइन्स्टाइन जिवंत असता, तर त्याच्या नावावर आणखी एक नोबेल पुरस्कार आला असता. नोबेल पुरस्काराचे निकष एकाच व्यक्तीच्या अनेकविध कल्पनांना लागू होणाऱ्या दोनच व्यक्ती, एक मायकेल फॅरडे व दुसरा ऑल्बर्ट आइन्स्टाइन! फॅरडेच्या काळी नोबेल पुरस्कार नव्हता, हे वेगळे!

८.९ आइन्स्टाइनचे व्यक्तिमत्व

वाहून घेतलेले कार्य व व्यक्तिमत्त्व यांचे अतूट नाते असलेल्या व्यक्ती कोणत्याही काळात कोणत्याही क्षेत्रात जगामध्ये हाताच्या बोटावर मोजण्याइतक्याच असतात. त्यामध्ये आइन्स्टाइनची गणना सहज होते. प्रथमपासून तो खऱ्या अर्थाने 'एकांडा शिलेदार' होता. आपल्या प्रज्ञेची त्याला पूर्ण परंतु नम्रतापूर्वक जाणीव होती. इतर वैज्ञानिकांविषयी व ते करीत असलेल्या संशोधनाविषयी त्याला आदर होता, परंतु त्याला मान्य नसलेल्या त्यांच्या कल्पनांचा परिणाम आपल्या मनावर होऊन आपण आपल्या कार्यापासून ढळू नये, याकरता तो विशेष जागरूक असे.

अशा व्यक्तींच्या मनोविश्वात व जीवनात विरोधाभास असणे स्वाभाविक असते. त्यातील काहींचा उल्लेख केला, तर त्यांचे व्यक्तिमत्व नीट समजण्याला वाव मिळतो. आइन्स्टाइनने जगातील मानवांशी सुसंवाद साधला, परंतु आपल्या अपत्यांशी काही तो साधू शकला नाही. जन्माने तो ज्यू होता, परंतु धर्माधर्मांचे वेगळेपण त्याला मान्य

नव्हते. एवढेच काय, राष्ट्रीयत्व ही संकल्पनासुद्धा त्याला मान्य नव्हती. राष्ट्रीयत्वामुळे मानवसमाजात फूट पडते, कलह होतात व संहार होतो, असे त्याला वाटे. त्याने अनेकदा म्हटले की, वैधानिकदृष्ट्या प्रत्येक व्यक्ती कोणत्या तरी देशाचा नागरिक असणे आवश्यक असते, परंतु मनोमन तो स्वत:ला जर्मन, स्विस वा अमेरिकन कधीच मानत नव्हता. तो विश्वमानव होता, परंतु विसाव्या शतकामधील सर्व जग त्याला प्रतिभावंत ज्यू वैज्ञानिक असेच ओळखत होते. इस्राएलचा पहिला राष्ट्रपती वारल्यावर त्या राष्ट्राने आइन्स्टाइनला राष्ट्रपती पदासाठी आमंत्रण दिले. त्याने अर्थात ते आमंत्रण नाकारले. इस्राएलींना वाटले होते तो आमंत्रण स्वीकारेल व इतर जगाला महदाश्चर्य वाटले की, त्याने ते नाकारले. सामान्य सापेक्षतावाद प्रयोगसिद्ध व्हायच्या आधी कोणी त्याला (जर्मनीत) विचारले, ''सापेक्षतावाद प्रयोगसिद्ध झाला नाही तर काय होईल?''. तो उत्तरला, ''सिद्ध झाला, तर जर्मन लोक म्हणतील, मी जर्मन आहे व फ्रेंच म्हणतील, मी ज्यू आहे. सिद्ध नाही झाला, तर जर्मन म्हणतील, मी ज्यू आहे व फ्रेंच म्हणतील, मी जर्मन आहे''! निसर्गाला वाहून घेऊन, त्याच्याशी एकरूप होऊन जीवन व्यतीत करण्याची त्याची मनोमन इच्छा होती, परंतु तो सदासर्वदा मानवी प्रकाशझोतात राहिला. आपले काम करीत जगापासून 'अदृश्य' राहण्याची त्याची इच्छा होती, परंतु एखाद्या चित्रपटतारकेप्रमाणे तो जीवनभर अतिदृश्य राहिला.

सापेक्षतावाद संपूर्ण समजायला जटिल गणित लागते, तर तो निर्माण करणाऱ्याला किती गणित यायला पाहिजे, याची कल्पनाच केलेली बरी. इतर अनेक भौतिकी सैद्धांतिक वैज्ञानिकांच्या (उदाहरणार्थ, मॅक्सवेल, जे. जे. टॉमसन, जॉम्मेरफेल्ड, माक्स बोर्न यांच्या) तुलनेने आइन्स्टाइनची उच्च गणितातील गती प्रारंभी पुष्कळ कमी होती. सामान्य सापेक्षतावादातील मूलभूत कल्पना व संकल्पना त्याला स्फुरायला लागल्या, त्या केवळ अंत:प्रेरणांनी व चिंतनाने. अर्थात जेव्हा त्याला उमगले की, ते जटिल गणित शिकायला पाहिजे, तेव्हा त्याने ते शिकून घेऊन पुढील विकास केला. अंत:प्रेरणांनी विचार करण्याची सवय लागण्याला अनुकूल अशी शिक्षणपद्धती असावी, तिच्यात औपचारिकता नसावी, असे त्याचे मत होते, यात नवल नाही.

आइन्स्टाइन केवळ सैद्धांतिक वैज्ञानिक होता, ही आणखी एक चुकीची समजूत. उपकरण-साधनांशी खुडबुड करायला त्याला आवडे. एक उदाहरण पुरे आहे. परमाणू-विघटनक्रियेमध्ये उत्पन्न होणारी उष्णता अणुभट्टीतून इतरत्र वाहून नेण्याकरता वापरण्यात येणारे द्रवपंप आइन्स्टाइनने अनेक दशकांपूर्वी आखलेल्या संकल्पचित्रावर (design) आधारलेले आहेत.

तो म्हणत असे की, विद्यालयात विज्ञान शिकविताना मुलांना सिद्धांत, समीकरणे, इत्यादींखाली दाबून ठेवणे चूक आहे. उपकरण-साधनांनी स्वत: प्रत्यक्ष प्रयोग करायला त्यांना वाव दिला पाहिजे. म्हणजे त्यांना विज्ञान समजेल, एवढेच नाही, तर त्यांना विज्ञानात रसही उत्पन्न होईल.

नम्रता हा आइन्स्टाइनचा विशेष गुण होता. त्याची विनोदबुद्धी त्याच्या अनेक उक्तींमध्ये दिसते. वेचक उक्ती परिशिष्ट २ मध्ये दिल्या आहेत.

८.१० आध्यात्मिक संकल्पना व आइन्स्टाइन

परंपरेच्या व रूढींच्या चक्रात अडकून बसणे, त्यांच्या नियंत्रणाप्रमाणे जीवनशैली ठेवणे हे आइन्स्टाइनच्या स्वभावात पहिल्यापासूनच नव्हते. त्याचे माता-पिता व एकूण कुटुंब नास्तिक होते. त्या नास्तिक्याच्या नियंत्रणातून सुटण्याकरिता दहाव्या वर्षी तो दीडएक वर्ष कर्मठ ज्यू झाला, सिनॅगॉगमध्ये जाऊ लागला. कर्मकांडातील औपचारिकता व नियंत्रण त्याला मानविण्यासारखे नव्हते, हे उघड आहे; परंतु त्याने प्रयोग तर केला. जगातील किती किशोरवयीन मुले असे करतात! मातापित्यांना आवडो वा न आवडो. स्वत:च्या विचारांना पटेल तेच जीवनभर त्याने केले, किशोरवयात, तारुण्यात, प्रौढत्वात व वृद्धत्वात. साधारण बाराव्या वर्षी त्याने 'विश्वधर्मा'ची संकल्पना मनात रुजवून घेतली व ती जीवनभर सोडली नाही. धर्म, ईश्वर, आत्मा, पारलौकिकता इत्यादी आध्यात्मिक प्रचलित संकल्पना त्याने कधीच स्वीकारल्या नाहीत. त्याच्या व्यक्त विचारांचा अर्थ जो तो आपापल्या मनोधारणेप्रमाणे लावत असतो. याच्यातच आइन्स्टाइनची महती प्रतीत होते.

''विश्वासंबंधीचे निर्णय ईश्वर फासे टाकून घेतो, असे मला वाटत नाही'' या आइन्स्टाइनच्या केव्हाच्या तरी उद्गारावरून 'ईश्वर' ही संकल्पना त्याला मान्य होती, असे पुष्कळ लोक म्हणतात. आध्यात्मिकांच्या व अस्तिकांच्या या अन्वयार्थामागे (interpretation) ''ज्या अर्थी आइन्स्टाइनसारख्या प्रतिभावंत वैज्ञानिकाने ईश्वराचा उल्लेख केला आहे, त्या अर्थी ईश्वर नाही म्हणणारे लोक व वैज्ञानिक खोटे पडतात,'' ही गोड समजूत असते. वास्तविक असे आहे की, या उद्गारांचा संदर्भ पारलौकिक संकल्पना नसून अगदी वेगळा होता. विश्वव्यवहार आपण केवळ संभवनीयतेने प्रतिपादन करू शकतो, हे ऊर्जापुंजवादाचे आधारतत्त्व (postulate) त्याला मनोमन मान्य नव्हते (जरी प्रकाशपुंज ही संकल्पना त्यानेच मांडली होती!). दुसरे हे की, 'निसर्ग'ऐवजी त्याने 'ईश्वर' हा शब्द उपयोजला. निसर्गव्यवहारासंबंधी स्पिनोझा या मध्यकालीन डच तत्त्ववेत्त्याचे तत्त्वज्ञान त्याला मान्य होते. त्यामध्ये पारलौकिक तसेच मनुष्यांच्या जीवनाशी संबंध राखणाऱ्या व त्यांच्यावर नियंत्रण ठेवणाऱ्या ईश्वराची कल्पना नाही. स्पिनोझाचा 'ईश्वर' म्हणजे निसर्गातील अनेक घटितांमधील व चमत्कारांमधील सुसंवाद (harmony) एवढेच. तिसरे असे की, प्रतिभावंत व्यक्तीने काही म्हटले, तर ते निर्विवाद सत्य समजणे न्यायदुष्ट आहे. निरनिराळ्या प्रतिभावंत व्यक्ती परस्परविरोधी तत्त्वज्ञान प्रतिपादन करतात, ते सर्व सत्य समजले, तर 'न्याय' या संज्ञेला अर्थ उरणार नाही.[१] आपण बुद्धिप्रामाण्य वापरलेच पाहिजे.

१. 'न्याय' या संस्कृत शब्दाचा अर्थ 'लॉजिक'सुद्धा आहे, केवळ 'जस्टिस' नाही, जसे 'गौतमाचे न्यायशास्त्र'. 'तर्क' याहून तो अधिक समर्पक आहे.

अध्यात्म ('स्पिरिच्युॲलिटी') या संकल्पनेविषयी आइन्स्टाइनची मनोधारणा काय होती, हे पुढील सत्यकथेवरून समजते. वैद्यक व शारीरविज्ञानात नोबेल पुरस्कृत अलेक्सिस कॅरेल न्यूयॉर्कमधील रॉकफेलर वैद्यकीय केंद्रात संशोधन करीत असे. त्याला उत्तरायुष्यात अध्यात्मात रस उत्पन्न झाला. अनेक शतकांपूर्वी एका षोडशवर्षीय बालिकेला फ्रान्समधील लूर्द या गावी जीझसच्या मातेचे दर्शन झाले होते, अशी आख्यायिका होती. तेथील झऱ्यांमध्ये स्नान केल्यावर शरीरातील व्याधी नष्ट होतात, अशा पूर्वापार लौकिकामुळे तेथे भरणाऱ्या वार्षिक यात्रेला गेल्यानंतर कॅरेलचे आध्यात्मिक व पारलौकिक विचार दृढ झाले. न्यूयॉर्कला परतल्यावर त्याने तत्संबंधी संशोधन चालू केले. कॅरेलचे 'लूर्दची यात्रा' हे स्वानुभवाचे पुस्तक दुसऱ्या महायुद्धापूर्वी प्रकाशित झाले होते. मानवी शवांतील हृदय, यकृत इत्यादी इंद्रिये काढून प्रयोगशाळेत फॉर्मेलिनमध्ये ठेवून त्यांचा अभ्यास व त्यांवर संशोधन करण्याची पद्धती आहे. एकदा आइन्स्टाइन रॉकफेलर केंद्रात गेला असताना कॅरेलने आपल्या संशोधनाविषयी माहिती दिली. ती इंद्रिये आध्यात्मिक प्रक्रियेने जीवित करण्यासंबंधी ते संशोधन होते. आइन्स्टाइनच्या चर्येवरील अविश्वासाचा भाव पाहताच कॅरेलने अध्यात्माविषयी प्रवचन देऊन विचारले, "प्राध्यापक आइन्स्टाइन, यथाकाल हे मी तुम्हांला प्रत्यक्ष दाखविले तर?" आइन्स्टाइन उत्तरला, "तरीही मी त्यावर विश्वास ठेवणार नाही!"[२]

८.११ उत्तरायुष्य

आइन्स्टाइन जेव्हा अमेरिकेत स्थायिक झाला, तेव्हा त्याच्यासह पत्नी एल्सा, आधीच्या विवाहापासूनची तिची मार्गोट ही कन्या व १९२८ पासूनची आइन्स्टाइनची एकनिष्ठ सचिव हेलेन डुकास होत्या. १९४०मध्ये सर्वांना अमेरिकन नागरिकत्व देण्यात आले. एल्साच्या मृत्यूनंतर (१९३६) घरातील व कार्यालयातील व्यवस्था हेलेन डुकास पाहत असे.

उतारवयातसुद्धा आइन्स्टाइनच्या शांतताप्रियतेने त्याला स्वस्थ बसू दिले नाही. जागतिक शांततेसाठी व अणुबॉम्बविरहित जगासाठी बर्ट्रण्ड रसेल, माक्स बोर्न, हेर्मान बॉण्डी इत्यादी व्यक्ती करीत असलेल्या प्रयत्नांना त्याने हातभार लावला. अणुबॉम्बसंबंधात आइन्स्टाइनविषयी अपसमज प्रचलित आहेत. मुख्य हा की, अणुबॉम्ब बनविण्यासाठी १९३९मध्ये त्याने राष्ट्रपती रुझवेल्टला पत्र लिहिले. तो बॉम्ब बनविण्याकरता त्याचा १९०५ चा 'ई ईक्वल टु एम सी स्क्वेअर्ड' हा सिद्धांत वापरला गेला, व जपानमध्ये संहार झाल्यावर शांतता प्रस्थापनेसाठी प्रयत्न केले, ही त्याच्या व्यक्तित्वातील प्रचंड विसंगती आहे व त्यामुळे त्याची महत्ता क्षीण होते.

२. या पुस्तकात त्याने स्वतःच्या नावाऐवजी डॉक्टर लेरॅक नावाच्या कल्पित वैद्यकीय वैज्ञानिकाच्या नावावर आपले सत्य अनुभव लिहिले आहेत! (Carrel च्या जागी उलटे Lerrac)

तो जितका महान समजला जात असे, तितका महान नव्हता.

आइन्स्टाइनला महान समजावे की नाही, हा वैयक्तिक प्रश्न आहे; परंतु वरील प्रतिवाद तर्कदुष्ट आहे. एक म्हणजे १९०५-१९३९ या काळात त्याचे हे तत्त्व अनेक प्रयोगांत व निरनिराळ्या विज्ञानशाखांत वापरले गेले, ज्यांचा अणुबॉम्बशी संबंध नाही. ते तत्त्व एक वैश्विक सत्य आहे. बंदूक व तोफ या संहारक शस्त्रांमध्ये 'क्रिया-प्रतिक्रिया' हा न्यूटनचा तिसरा नियम वापरला आहे. याचा अर्थ असा नाही की, या संहारक शस्त्रास्त्रांचे उत्तरदायित्व न्यूटनचे आहे. दुसरे हे की, अणुबॉम्बमधील हाह्न-माइटनेर यांच्या अणुविघटनक्रियेच्या (fission) संशोधनाशी (जर्मनी, १९३६मधील) आइन्स्टाइनचा व्यक्तिशः संबंधच नाही. तिसरे हे की, हिटलरचा जर्मनी देश अणुबॉम्ब बनविण्याचा प्रयत्नात आहे व तो प्रयत्न सफल होण्याची संभवनीयता पुष्कळ आहे, हे विश्वसनीय वृत्त गुप्तचरांनी आणले होते. प्रश्न अणुबॉम्ब बनविण्याचा नव्हता, अमेरिका-ब्रिटनने बनवून संभाव्य संहाराचे नियंत्रण आपोआप व्हावे, की जगाचा संहार करायला नात्सी क्रौर्याला मोकळे सोडावे, हा होता. अमेरिका-ब्रिटनने चटकन बनविला, तर युद्धापुरता तो वापरला जाईल, निदान जर्मनीला ते भय घालता येईल. यायोगे नात्सींच्या संभाव्य उपयोगामुळे होणारा जगाचा संहार टाळता येईल, असे आइन्स्टाइनलाच काय, सर्वांना वाटत होते.

या प्रक्रियेचे प्रणेते (आइन्स्टाइनसारखे युरोपमधून नात्सीवादामुळे विस्थापित झालेले ज्यू वैज्ञानिक) एनरिको फर्मी, एड्वर्ड् टेलर, यूजिन विग्नर व लिओ झिलार्ड हे होते. फर्मी नोबेल पुरस्कृत होता व काहींना कालांतराने नोबेल पुरस्कार मिळाले, परंतु राष्ट्रपतींपर्यंत संदेश पोहोचविण्याइतके राजनैतिक व शासकीय महत्त्व त्यांना नव्हते. आइन्स्टाइनचे म्हणणे रुझवेल्ट ऐकेल, असे वाटल्यावरून त्याला पत्र लिहायला उद्युक्त केले गेले. त्याचे पत्र जाण्याआधी काही महिने हेन्री टिझर्डच्या नेतृत्वाखाली ब्रिटिश वैज्ञानिकांनी अणुबॉम्बसंबंधात पंतप्रधान नेविल चेंबर्लेन व त्यावेळी शासनबाह्य असलेला विन्स्टन चर्चिल यांच्याशी संपर्क साधला होता. जीवनाहून महान प्रतिमा असणे या संदर्भात आइन्स्टाइनच्या गळ्याशी आले.

एक समर्थनशील प्रतिवाद असाही आहे की, अणुबॉम्बसंदर्भात पश्चिमी देशांच्या राजनैतिक मनोधारणेत नात्सींचे स्थान सोविएट संघाला महायुद्धोत्तर मिळाले. तेव्हा उत्पन्न झालेला मानवी नैतिक मूल्यांचा विशेष विचार महायुद्धपूर्व कोणाच्या मनात नव्हता. नात्सींना नामोहरम करणे हेच एक समर्थनशील उद्दिष्ट होते. येथे आपण एवढीच नोंद घ्यायची की, या सर्व गोष्टींशी आइन्स्टाइनच्या पत्राचा काहीच संबंध नाही!

आइन्स्टाइनच्या प्रिन्स्टनमधील घराशेजारी राहणारी आठ वर्षांची एक शाळकरी बालिका गणितातील शंका विचारायला त्याच्याकडे जात असे, ही वदंता नाही, सत्यकथा आहे. त्याची जगभरातील प्रतिमा अशी होती की, ती बालिका अस्तित्वात

अध्यात्म ('स्पिरिच्युॲलिटी') या संकल्पनेविषयी आइन्स्टाइनची मनोधारणा काय होती, हे पुढील सत्यकथेवरून समजते. वैद्यक व शारीरविज्ञानात नोबेल पुरस्कृत अलेक्सिस कॅरेल न्यूयॉर्कमधील रॉकफेलर वैद्यकीय केंद्रात संशोधन करीत असे. त्याला उत्तरायुष्यात अध्यात्मात रस उत्पन्न झाला. अनेक शतकांपूर्वी एका षोडशवर्षीय बालिकेला फ्रान्समधील लूर्द या गावी जीझसच्या मातेचे दर्शन झाले होते, अशी आख्यायिका होती. तेथील झऱ्यांमध्ये स्नान केल्यावर शरीरातील व्याधी नष्ट होतात, अशा पूर्वापार लौकिकामुळे तेथे भरणाऱ्या वार्षिक यात्रेला गेल्यानंतर कॅरेलचे आध्यात्मिक व पारलौकिक विचार दृढ झाले. न्यूयॉर्कला परतल्यावर त्याने तत्संबंधी संशोधन चालू केले. कॅरेलचे 'लूर्दची यात्रा' हे स्वानुभवाचे पुस्तक दुसऱ्या महायुद्धापूर्वी प्रकाशित झाले होते. मानवी शवांतील हृदय, यकृत इत्यादी इंद्रिये काढून प्रयोगशाळेत फॉर्मलिनमध्ये ठेवून त्यांचा अभ्यास व त्यांवर संशोधन करण्याची पद्धती आहे. एकदा आइन्स्टाइन रॉकफेलर केंद्रात गेला असताना कॅरेलने आपल्या संशोधनाविषयी माहिती दिली. ती इंद्रिये आध्यात्मिक प्रक्रियेने जीवित करण्यासंबंधी ते संशोधन होते. आइन्स्टाइनच्या चर्येवरील अविश्वासाचा भाव पाहताच कॅरेलने अध्यात्माविषयी प्रवचन देऊन विचारले, "प्राध्यापक आइन्स्टाइन, यथाकाल हे मी तुम्हांला प्रत्यक्ष दाखविले तर?" आइन्स्टाइन उत्तरला, "तरीही मी त्यावर विश्वास ठेवणार नाही!"[२]

८.११ उत्तरायुष्य

आइन्स्टाइन जेव्हा अमेरिकेत स्थायिक झाला, तेव्हा त्याच्यासह पत्नी एल्सा, आधीच्या विवाहापासूनची तिची मार्गोट ही कन्या व १९२८ पासूनची आइन्स्टाइनची एकनिष्ठ सचिव हेलेन डुकास होत्या. १९४०मध्ये सर्वांना अमेरिकन नागरिकत्व देण्यात आले. एल्साच्या मृत्यूनंतर (१९३६) घरातील व कार्यालयातील व्यवस्था हेलेन डुकास पाहत असे.

उतारवयातसुद्धा आइन्स्टाइनच्या शांतताप्रियतेने त्याला स्वस्थ बसू दिले नाही. जागतिक शांततेसाठी व अणुबॉम्बविरहित जगासाठी बर्ट्रण्ड रसेल, माक्स बोर्न, हेर्मान बॉण्डी इत्यादी व्यक्ती करीत असलेल्या प्रयत्नांना त्याने हातभार लावला. अणुबॉम्बसंबंधात आइन्स्टाइनविषयी अपसमज प्रचलित आहेत. मुख्य हा की, अणुबॉम्ब बनविण्यासाठी १९३९मध्ये त्याने राष्ट्रपती रुझवेल्टला पत्र लिहिले. तो बॉम्ब बनविण्याकरता त्याचा १९०५ चा 'ई ईक्वल टु एम सी स्क्वेअर्ड' हा सिद्धांत वापरला गेला, व जपानमध्ये संहार झाल्यावर शांतता प्रस्थापनेसाठी प्रयत्न केले, ही त्याच्या व्यक्तित्वातील प्रचंड विसंगती आहे व त्यामुळे त्याची महत्ता क्षीण होते.

---

२. या पुस्तकात त्याने स्वतःच्या नावाऐवजी डॉक्टर लेरॅक नावाच्या कल्पित वैद्यकीय वैज्ञानिकाच्या नावावर आपले सत्य अनुभव लिहिले आहेत! (Carrel च्या जागी उलटे Lerrac)

तो जितका महान समजला जात असे, तितका महान नव्हता.

आइन्स्टाइनला महान समजावे की नाही, हा वैयक्तिक प्रश्न आहे; परंतु वरील प्रतिवाद तर्कदुष्ट आहे. एक म्हणजे १९०५-१९३९ या काळात त्याचे हे तत्त्व अनेक प्रयोगांत व निरनिराळ्या विज्ञानशाखांत वापरले गेले, ज्यांचा अणुबॉम्बशी संबंध नाही. ते तत्त्व एक वैश्विक सत्य आहे. बंदूक व तोफ या संहारक शस्त्रांमध्ये 'क्रिया-प्रतिक्रिया' हा न्यूटनचा तिसरा नियम वापरला आहे. याचा अर्थ असा नाही की, या संहारक शस्त्रास्त्रांचे उत्तरदायित्व न्यूटनचे आहे. दुसरे हे की, अणुबॉम्बमधील हान्न-माइटनेर यांच्या अणुविघटनक्रियेच्या (fission) संशोधनाशी (जर्मनी, १९३६मधील) आइन्स्टाइनचा व्यक्तिशः संबंधच नाही. तिसरे हे की, हिटलरचा जर्मनी देश अणुबॉम्ब बनविण्याचा प्रयत्नात आहे व तो प्रयत्न सफल होण्याची संभवनीयता पुष्कळ आहे, हे विश्वसनीय वृत्त गुप्तचरांनी आणले होते. प्रश्न अणुबॉम्ब बनविण्याचा नव्हता, अमेरिका-ब्रिटननी बनवून संभाव्य संहाराचे नियंत्रण आपोआप व्हावे, की जगाचा संहार करायला नात्सी क्रौर्याला मोकळे सोडावे, हा होता. अमेरिका-ब्रिटननी चटकन बनविला, तर युद्धापुरता तो वापरला जाईल, निदान जर्मनीला ते भय घालता येईल. यायोगे नात्सींच्या संभाव्य उपयोगामुळे होणारा जगाचा संहार टाळता येईल, असे आइन्स्टाइनलाच काय, सर्वांना वाटत होते.

या प्रक्रियेचे प्रणेते (आइन्स्टाइनसारखे युरोपमधून नात्सीवादामुळे विस्थापित झालेले ज्यू वैज्ञानिक) एनरिको फर्मी, एड्वर्ड् टेलर, यूजिन विग्नर व लिओ झिलार्ड हे होते. फर्मी नोबेल पुरस्कृत होता व काहींना कालांतराने नोबेल पुरस्कार मिळाले, परंतु राष्ट्रपतींपर्यंत संदेश पोहोचविण्याइतके राजनैतिक व शासकीय महत्त्व त्यांना नव्हते. आइन्स्टाइनचे म्हणणे रुझवेल्ट ऐकेल, असे वाटल्यावरून त्याला पत्र लिहायला उद्युक्त केले गेले. त्याचे पत्र जाण्याआधी काही महिने हेन्री टिझर्डच्या नेतृत्वाखाली ब्रिटिश वैज्ञानिकांनी अणुबॉम्बसंबंधात पंतप्रधान नेविल चेंबर्लेन व त्यावेळी शासनबाह्य असलेला विन्स्टन चर्चिल यांच्याशी संपर्क साधला होता. जीवनाहून महान प्रतिमा असणे या संदर्भात आइन्स्टाइनच्या गळ्याशी आले.

एक समर्थनशील प्रतिवाद असाही आहे की, अणुबॉम्बसंदर्भात पश्चिमी देशांच्या राजनैतिक मनोधारणेत नात्सींचे स्थान सोविएट संघाला महायुद्धोत्तर मिळाले. तेव्हा उत्पन्न झालेला मानवी नैतिक मूल्यांचा विशेष विचार महायुद्धपूर्व कोणाच्या मनात नव्हता. नात्सींना नामोहरम करणे हेच एक समर्थनशील उद्दिष्ट होते. येथे आपण एवढीच नोंद घ्यायची की, या सर्व गोष्टींशी आइन्स्टाइनच्या पत्राचा काहीच संबंध नाही!

आइन्स्टाइनच्या प्रिन्स्टनमधील घराशेजारी राहणारी आठ वर्षांची एक शाळकरी बालिका गणितातील शंका विचारायला त्याच्याकडे जात असे, ही वदंता नाही, सत्यकथा आहे. त्याची जगभरातील प्रतिमा अशी होती की, ती बालिका अस्तित्वात

नसती, तर कल्पनेतून शोधून काढायला लागली असती. अशा कथांतूनसुद्धा त्याचे व्यक्तिमत्व दृग्गोचर होते.

साधारण १९३०नंतरच्या त्याच्या कल्पना यशस्वी झाल्या नाहीत. (हे प्रतिपादन आइन्स्टाइनच्या बौद्धिक स्तरावरचे आहे, सामान्य वैज्ञानिकांच्या नाही!) बहुतांशी तो गुंतलेला असे निसर्गातील सर्व प्रकारच्या चमत्कारांचे गूढ एकाच सिद्धांताने बांधण्याच्या प्रयत्नात. ऊर्जापुंजवादाचे संभवनीयतेचे तत्त्वज्ञान त्याला मान्य नव्हते. काही ना काही क्लृप्ती काढून तो विरोध करीत बसला होता. तथापि १९३५मध्ये ऊर्जापुंजवादाच्या विरोधात, पोडोल्स्की व रोझेन या विद्यार्थ्यांसह प्रसिद्ध केलेल्या त्याच्या निबंधावर आजपर्यंत टीकाटिप्पणी येत आहे. आइन्स्टाइनच्या मृत्युनंतर माक्स बोर्न या (त्याच्याहून पाच वर्षे कनिष्ठ) जीवश्च कंठश्च मित्राने उद्गार काढले होते, "आइन्स्टाइनची विचारधारणा जराशी बदलली असती, तो भौतिकीच्या मुख्य प्रवाहात आला असता व त्याच्या प्रतिभेला साजेसे योगदान इतरांना मिळाले असते, तर आजच्या विज्ञानाच्या काही समस्या कदाचित् उकलल्या गेल्या असत्या."

८.१२ मृत्यू

वयाच्या साधारण सत्तराव्या वर्षापासून, म्हणजे आयुष्याची शेवटची पाच-सहा वर्षे, आइन्स्टाइनला काही ना काही गंभीर व्याधी होत्या, आतड्याची, यकृताची व अतिगंभीर म्हणजे शरीरातील सर्वात मोठ्या ('एओर्टा' या) धमनीची. परंतु वेदना होत असतानासुद्धा त्याचा आनंदी स्वभाव, खेळीमेळीचे वर्तन, विनोदप्रवणता, कार्यवाही कशातही बदल झाला नाही. आसपासच्या 'मानवी पर्यावरणा'पासून पाहिजे तेव्हा मनाने दूर राहून काम करीत राहण्याची कला 'वेदना पर्यावरणा'पासून दूर राहून कामात व्यग्र राहायला यावेळी अत्युपयोगी ठरली. "आयुष्यात मी माझे कार्य केले आहे," या त्याच्या उक्तीमध्ये सर्व काही आले आहे.

रुग्णालयात एकदा सायंकाळी त्याने परिगणन करून, नवीन समीकरणे लिहून, पुढचे काम दुसऱ्या दिवशी करण्यासाठी उशाशी कागद ठेवले. वेदना होत नसतील, तर ते करण्याचा त्याचा बेत होता.

परंतु १८ एप्रिल १९५५च्या पहाटे धमनीचा फुगा फुटून, रक्तस्राव होऊन आइन्स्टाइनचा मृत्यू झाला. त्या आधी काही तास अर्धवट शुद्धीत तो काहीतरी पुटपुटत होता, परंतु जर्मन भाषेमध्ये. रुग्णालयातील त्याच्या कक्षातील परिचारिकेला जर्मन येत नव्हते. त्या बोलण्यात सापेक्षतावाद होता, आपल्या जीवनातील सुखदुःखांचा व यशापयशांचा आढावा होता, की प्रथम पत्नी मिलेवा, विवाहपूर्वीची कन्या लिएजेर्ल, पुत्र हान्स व एडुआर्ड, द्वितीय पत्नी एल्सा यांच्या स्मृती होत्या, कोणास ठाऊक!

□□

: ९ :

कालावकाश जग हे चतुर्मितीय अस्तित्व

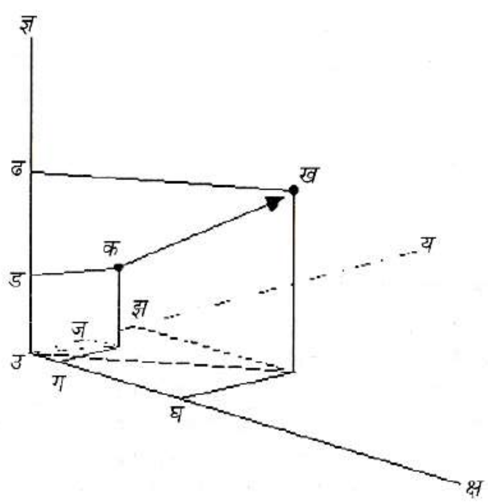
९.१ 'काल' या संकल्पनेची सापेक्षता

'दैनंदिन व्यवहारांतील सापेक्षता' या पहिल्या प्रकरणाच्या दुसऱ्या अनुभागात (१.२) "चतुर्मिती अवकाश प्रत्यक्षात असू शकतो का?" हा प्रश्न आपण उपस्थित केला होता व त्याचे उत्तर "नाही, परंतु त्याचे गणित ज्ञात आहे," असे दिले होते. त्यावेळी आपल्याला आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद भेटलेला नव्हता. तद्पश्चात् आपण 'आधी', 'नंतर' व 'एकसमयावच्छेदित्व' या चौथ्या प्रकरणात 'काल' या संकल्पनेची आइन्स्टाइनने केलेली मूलभूत समीक्षा बारकाईने पाहिली. सामान्य विचाराला त्यावेळी विचित्र वाटणारा एक निष्कर्ष निघाला होता की, कालमापन स्थान व वेग सापेक्ष असते. 'निरपेक्षता' हा पूर्वापार गृहीत धरलेला गुण कालात नसतो. सहनिर्देशक-मापन, परिमाण-मापन किंवा अंतर-मापन जसे कालावर अवलंबून असते तसेच कालमापन स्थानावर (म्हणजे स्थानाच्या सहनिर्देशकांच्यावर) अवलंबून असते. स्थिर असताना एकमेकांशी तंतोतंत जुळणारी दोन घड्याळे जर वेगळ्या परिस्थितीत ठेवली, (उदाहरणार्थ, एक स्थानकावर व दुसरे वेगाने संथ सरळ चालणाऱ्या वाहनात) तर ती वेगवेगळ्या वेळा दाखवितात. एखादी घटना कोठे घडली, एवढेच सांगणे पुरेसे नाही. स्थानाचे सहनिर्देशक कोणत्या अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने आहेत, हेसुद्धा सांगायला पाहिजे. एखादी घटना घडल्याची वेळ सर्व अक्षप्रणालीमध्ये एकच असते (निर्विवाद 'एकसमयावच्छेदित्व'), या पूर्वापार गृहीत धरलेल्या कल्पनेचा त्याग करायला लागला.

*९.२ सापेक्षतावादोत्तर चतुर्मिती कालावकाश जग

'चतुर्मिती अवकाश' किंवा 'चतुर्मिती कालावकाश जग' या संज्ञेमुळे आपण

अस्वस्थ होतो, कारण आपल्या दैनंदिन अनुभवातील अवकाश त्रिमिती आहे, म्हणजे स्थान निश्चित सांगायला तीन सहनिर्देशक द्यायला लागतात. लहान मुलांच्या शब्दांत सांगायचे, तर आपले जग 'उजवीकडे-डावीकडे, पुढे-मागे, वर-खाली' एवढ्याच तीन परिमाणांचे आहे. तथापि सर्व प्रकारच्या वैश्विक व्यवहारांचे सुयोग्य अवलोकन, वर्णन, पृथक्करण करण्यासाठी व स्पष्टीकरण देण्यासाठी चार सहनिर्देशक लागतात, हे



आकृती १३ : त्रिमितीय अवकाश

आपण अभ्यासत आलो आहोत. घटना घडण्याची वेळ हा चौथा सहनिर्देशक झाला.

शेवटचे विधान नीट समजावून घ्यायला पाहिजे. सापेक्षतावादाच्या आधी 'वेळ' ही संज्ञा होती, वेळेचा निर्देश करणे व स्थान, वेग, प्रवेग इत्यादी चल परिमाणे तिच्यावर कशी अवलंबून असतात, हे पाहणे आवश्यक होते, हे खरे; परंतु त्यामध्ये कालाचा व वेळेचा सापेक्षता हा गुण धरलेला नसे. एखाद्या घटनेच्या संदर्भात त्यांचे मूल्य सर्वत्र एकच धरलेले असे. सापेक्षतावादोत्तर हे बदलले. 'वेळ' ही एक मिती तथा परिमाण समजणे प्राप्त आहे.

तात्पर्य, उजवीकडे-डावीकडे, पुढे-मागे, वर-खाली या तीन 'अवकाश'-मिती व एक 'काल-मिती' असे आपले विश्व चतुर्मिती आहे. त्याला चतुर्मिती जग म्हणायचे. चतुर्मिती जगात काल-मिती सामावलेली आहे; *क्ष, य, ज्ञ* व *क* ही त्याची परिमाणे. एक-, द्वि-, त्रिमितीय अवकाशांप्रमाणे चतुर्मिती अवकाशसुद्धा

सलग बिंदूंचा बनलेला आहे. प्रत्येक बिंदूच्या सभोवती असलेले इतर बिंदू अनंतसूक्ष्म (infinitesimal) अंतरावर असतात, हा याचा अर्थ. आता हे खरे की, पहिल्या प्रकरणात निरनिराळ्या आकृत्यांमध्ये अवकाशाचे तीन अक्ष दाखविल्याप्रमाणे चार अक्ष दाखवून आकृत्या काढणे शक्य नाही. चतुर्मिती अवकाशात काय कसे असेल, हे समजण्यासाठी कल्पनाशक्ती जराशी ताणायला लागते. एक आपण करू शकतो. पहिल्या प्रकरणात वर्णिलेला 'अळीचा अवकाश' व 'काल' या दोनच मिती कल्पून साध्या कागदावर आकृत्या काढणे. तसेच लेखणीच्या टोकाचा 'द्विमिती अवकाश' व 'काल' या तीन मिती कल्पून यथार्थदर्शन आकृत्या कागदावरच काढणे. कल्पनाशक्तीला याचे पुष्कळ साहाय्य होते. सतत परिचयाने कल्पना करणे सुकर होते. दैनंदिन व्यवहारात चतुर्मिती जगाची आवश्यकता भासत नाही. वेग प्रचंड असताना, गुरुत्वाकर्षणाचा सखोल अभ्यास करताना, विश्वाच्या एकूण स्वरूपाचे विवेचन करताना व ऊर्जापुंजवादातील विशिष्ट समस्यांचे विवेचन करताना चतुर्मिती कालावकाश जग कल्पायला पाहिजेच.

मानवाच्या विचारविश्वामध्ये चतुर्मिती कालावकाश जग यायला सहस्रके का लागली? मूलभूत कारण हे की, मोजपट्टीने मोजता येणाऱ्या उजवीकडे-डावीकडे, पुढे-मागे, वर-खाली या आपल्यासभोवतीच्या त्रिमिती अवकाशाच्या परिमाणांशी 'काल' व 'कालप्रवाह' या संकल्पनांचा अंगभूत व अन्योन्यसंबंध आहे, ही कल्पनाच जगातील कोणत्याही संस्कृतीमध्ये नव्हती. सापेक्षतावाद येईपर्यंत विज्ञानानेसुद्धा कालाला (म्हणून वेळेला) निर्विवाद स्वतंत्र अस्तित्व प्रदान केले होते. सापेक्षतावादात मात्र चतुर्मिती कालावकाश जग ही मिङ्कोस्की या स्विस वैज्ञानिकाने काढलेली संकल्पना चपखल बसते. वेगाने चालणाऱ्या वाहनातील घड्याळ मागे जाते या आपण पूर्वी पाहिलेल्या चमत्कारामधून ही कल्पना निघाली, परंतु त्याने तिच्यातून काढलेला, पुढील अनुभागात दिलेला निष्कर्ष अधिक महत्त्वाचा आहे.

* ९.३ चतुर्मिती जगाचे थोडे गणित

'अक्षप्रणाली' ही आपण पहिल्या प्रकरणात काढलेली कल्पना औपचारिकरित्या पुढे न्यायची एवढेच. आकृती १.३ मध्ये *क* व *ख* हे दोन बिंदू दाखविले आहेत. *उक्ष*, *उय*, *उज्ञ* हे तीन अक्ष आपण आपल्या सुविधेप्रमाणे कोठेही घेऊ शकतो. उगमस्थान *उ* कोठेही व तीन अक्षांच्या दिशा कशाही घेतल्या, तरी *कख* हे अंतर काही बदलत नाही. फार तर तिन्ही सहनिर्देशक बदलतील. तसेच सापेक्षतावादात आहे. आकृती १३ मध्ये दाखविलेले *क* व *ख* यांचे सहनिर्देशक घेऊन व पायथॅगरस प्रमेय उपयोजून आपण पुढील समीकरण मांडतो.

$$(\text{कख})^2 = (\text{गघ})^2 + (\text{जज्ञ})^2 + (\text{डढ})^2$$

चतुर्मिती अवकाशामध्ये 'काल'निर्देशक आकृतीमध्ये दाखविता न येणारा *उह* हा नवीन अक्ष व त्याला जुळणारे दोन बिंदूंच्या नवीन काल-सहनिर्देशकांतील अंतर *ळळ* घेऊ. या आकृतीत ते दाखविता मात्र येत नाहीत. औपचारिक का होई ना, पुढील समीकरण सरळ लिहिता येते.

$$(\text{कख})^{२} = (\text{गघ})^{२} + (\text{जझ})^{२} + (\text{डढ})^{२} + (\text{ळळ})^{२}$$

'काला'चे एकक सेकंद व 'अंतरा'चे मीटर. तेव्हा ती दोन एकके एके ठिकाणी लिहायला 'मीटर/सेकंद' म्हणजे कसल्या तरी 'वेगा'ने गुणायला पाहिजे, कारण परिमाण एकच पाहिजे, नाही तर केळी व पेरू एक केल्यासारखे होईल (उदाहरणार्थ, "चार केळी व दोन पेरू मिळून किती आंबे होतील?" असे विचारण्यासारखे). हा वेग पाहिजे निर्विवाद, निरपेक्ष, स्थिरांक, अर्थात प्रकाशवेग! *ळळ* मध्ये तसे केलेले आहे व या सर्व प्रक्रियेचे गणित ठीक असावे म्हणून $\sqrt{-१}$ या काल्पनिक संख्येनेसुद्धा गुणणे भाग पडते; परंतु यात गूढ काही नाही. समजून घेण्याची महत्त्वाची गोष्ट पुढील आहे.

समजा, एकच घटना दोन अक्षप्रणालींमधून पाहिली. सहनिर्देशक अक्षप्रणाली-सापेक्ष असणार. तरी आढळते की –

$$[(\text{कख})^{२} = (\text{गघ})^{२} + (\text{जझ})^{२} + (\text{डढ})^{२} + (\text{ळळ})^{२}]_{१}$$
$$= [(\text{कख})^{२} = (\text{गघ})^{२} + (\text{जझ})^{२} + (\text{डढ})^{२} + (\text{ळळ})^{२}]_{२}$$

ज्यामध्ये सम (=) चिन्हाच्या आधीची राशी एका अक्षप्रणालीसापेक्ष व सम (=) चिन्हाच्या नंतरची राशी दुसऱ्या अक्षप्रणालीसापेक्ष आहे.

पुढील प्रकरणात दिलेल्या सामान्य सापेक्षतावादाच्या मूळ संकल्पनांचा सुयोग्य बोध व्हायला वरील गणिताची आवश्यकता नाही.

❑❑

: १० :

गुरुत्वाकर्षण व 'सामान्य' सापेक्षतावाद

१०.१ प्रास्ताविक

प्राचीन ग्रीक काळापासून, गॅलिलिओ, न्यूटन, फॅरडे, मॅक्सवेल, आइन्स्टाइन यांच्या काळापर्यंतचा विज्ञानाचा विकास पाहिला, तर नैसर्गिक चमत्कारांचे पुढील ढोबळ वर्ग करता येतील –

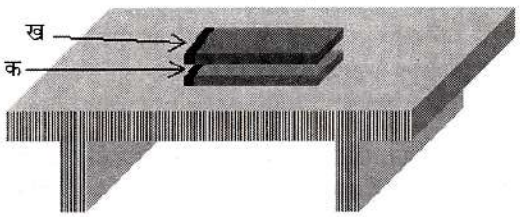
१. स्थितिगतिविज्ञानांतर्गत
२. गुरुत्वाकर्षणांतर्गत
३. विद्युत्‌विज्ञानांतर्गत
४. चुंबकीय विज्ञानांतर्गत

विद्युत्‌विज्ञान व चुंबकीय विज्ञान दोन्ही सोळाव्या शतकात निर्माण झाली व तद्‌नंतरच्या दोन शतकांत दोन्हीत विविध प्रकारचे चमत्कार निदर्शनाला आले. १८४०च्या आसपास फॅरडेने शोधलेल्या विद्युच्चुंबकीय प्रवर्तन या चमत्कारानंतर या दोनांचे एकीकरण १८७५ च्या आसपास जेम्स मॅक्सवेल या ब्रिटिश वैज्ञानिकाने केले. 'एकीकरण केले' अथवा 'संहती केली', म्हणजे एकाच 'विद्युच्चुंबकीय अस्तित्वाची' वेगवेगळ्या परिस्थितीतील ही दोन वेगळी रूपे आहेत, हे सिद्ध केले. प्रायोगिक सिद्धताही लवकरच झाली.

आइन्स्टाइनच्या विशिष्ट सापेक्षतावादातून अनेक गोष्टी निघाल्या, हे आपण पाहत आलो आहोत. आणखी एक विशेषता ही की, स्थितिगतिविज्ञान व मॅक्सवेलचे विद्युच्चुंबकीय विज्ञान यांची संहती. प्रस्तुत पुस्तकात यासंबंधी विवेचन करण्याचे प्रयोजन नाही. तथापि ही संहती मूलभूत आहे, हे ध्यानात असावे.

'संहती तथा एकीकरण' याचा अर्थ नीट समजावून घ्यायला पाहिजे. आकृती १४

मध्ये समान ध्रुव एकाच बाजूला असलेले दोन चुंबक दाखविले आहेत, *क* टेबलावर स्थिर आहे व *ख* त्यावर प्रतिकर्षणामुळे अधांतरी तरंगत आहे. *ख* या चुंबकावर 'खाली ↓' या दिशेला असलेले पृथ्वीचे बल (म्हणजे त्याचे वजन किंवा भार) व *क*मुळे 'वर ↑' या दिशेला असलेले प्रतिकर्षणाचे बल ज्या स्थानी समतुल्य आहेत, तेथे तो चुंबक तरंगत राहतो, खाली पडत नाही. या अवलोकनाने असे काही सिद्ध झालेले नाही की, ही दोन्ही बले एकाच सिद्धांतातून निर्माण झाली आहेत. असेही नाही की, या प्रयोगाने स्थितिगतिविज्ञान व विद्युच्चुंबकीय विज्ञान यांची संहती झाली. ती विशिष्ट सापेक्षतावादाने झाली, हे प्रतिपादन वर केले आहेच.



आकृती १४

आइन्स्टाइनला यापुढे जाऊन गुरुत्वाकर्षणाचा समावेश विशिष्ट सापेक्षतावादात करायचा होता. असा एक सिद्धांत प्रस्थापित करायचा होता की, ज्यामध्ये ही संहती आपोआप येईल. त्याकरता वेगळे काही यादृच्छिक (arbitrary) गृहीत धरण्याची आवश्यकता भासू नये. आठव्या प्रकरणात आपण पाहिले की, हा यत्न यथाकाल सफल होऊन १९१६ मध्ये सामान्य सापेक्षतावाद जगाला मिळाला. त्याचे प्राथमिक विवेचन आपण येथे करणार आहोत. सामान्य सापेक्षतावाद ही आइन्स्टाइनच्या प्रतिभेची अत्युच्च भरारी होय. नोबेल पुरस्कार वास्तविक त्याकरता द्यायला पाहिजे होता व त्याचा सुस्पष्ट उल्लेख पुरस्कारपत्रिकेत करायला पाहिजे होता. असो. झाले ते झाले.

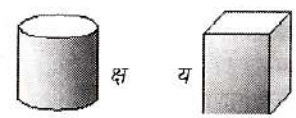
१०.२ गुरुत्वाकर्षण

वस्तू वर फेकली तर खाली येते, याचा अर्थ पृथ्वी त्यावर काही बल पाडते, हे स्पष्ट आहे. म्हणजे पृथ्वी नेमके काय करीत असते? एकोणिसाव्या शतकाच्या पहिल्या तीन-चार दशकांपर्यंत साधारणपणे न्यूटनला अभिप्रेत असलेली 'ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स' ही कल्पना होती. वस्तू दूर असली तरी तिच्यात व पृथ्वीत अदृश्य व अतूट

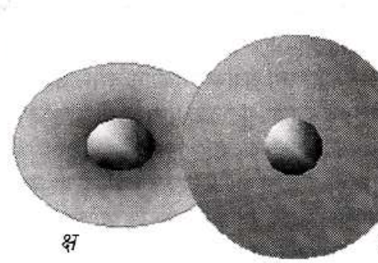
(पारलौकिक?) नाते आहे, असे मानले जात असे. न्यूटनच्या वैश्विक गुरुत्वाकर्षणाच्या सिद्धांतात या प्रश्नाचा ऊहापोह केलेला नाही. अर्थात त्या सिद्धांताचे व त्याच्या यशाचे त्यामुळे काही बिघडले, असे मात्र नाही. सापेक्षतावादाचा उगम होण्याआधीच ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स नसून दुसरे काही होत असते, ही कल्पना निघाली होती व ते विवेचन लागलीच आपण करणार आहोत; परंतु त्या आधी ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स ही कल्पना सापेक्षतावादाच्या तत्त्वांशी का जुळत नाही, हे पाहू.

समजा, आपल्याकडे *क्ष* ही वस्तू आहे व कोणत्या एका क्षणी *य* ही दुसरी वस्तू तिच्यापाशी ठेवली. (आकृति १५.१) *क्ष* गुरुत्वाकर्षणामुळे *य* कडे आकर्षिली जाईल. ज्या क्षणी *य* ठेवली, तत्क्षणी *क्ष*वर परिणाम झाला, असे मानले, तर असा अर्थ होईल की, ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स चा परिणाम करण्याचा वेग अनंत किमी/सेकंद आहे. हे सापेक्षतावादानुसार नाही.

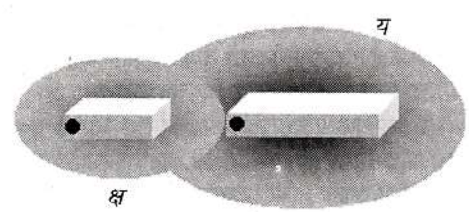
असे आकर्षण आणखी दोन परिस्थितीमध्ये होते. क्षणभर गुरुत्वाकर्षण विसरून जाऊ. *क्ष* वर धन विद्युद्प्रभार व *य* वर ऋण विद्युद्प्रभार असेल तर (आकृती १५.२), किंवा *क्ष*, *य* हे चुंबक असतील व त्यांचे विरुद्ध ध्रुव एकमेकांकडे असतील तर (आकृती १५.३), असेच आकर्षण उद्भवेल. अशा चमत्कारांच्या सुयोग्य स्पष्टीकरणाकरता फॅरडेने *ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स*ऐवजी *प्रभावक्षेत्र* ही संकल्पना मांडली. विद्युद्प्रभारित



आकृती १५.१



आकृती १५.२



आकृती १५.३

(वा चुंबकीय गुण असलेल्या) वस्तूभोवतालचा अवकाश निर्वात व निर्वस्तू असला, तरी निर्गुण नसतो. त्यामध्ये विद्युत् (वा चुंबकीय) प्रभाव क्षेत्र असते. प्रभावक्षेत्राच्या माध्यमाद्वारे विद्युद्भारित (वा चुंबकीय) वस्तू एकमेकांवर परिणाम करतात. या आकृत्यांमध्ये औपचारिकरीत्या परिमित (finite) दाखविलेली प्रभावक्षेत्रे अनंत अंतरापर्यंत अस्तित्वात असतात. अर्थात् वस्तूपासून अंतर जसजसे वाढते, तसतशी त्यांची तीव्रता कमी होत जाते.

अजूनही सापेक्षतावादाचे समाधान होणार नाही, कारण प्रभावक्षेत्रांद्वारेसुद्धा परिणाम तत्क्षणी होऊ शकेल. वास्तविक असे आहे की, *य* ठेवल्या क्षणापासून काही कालावधीने *क्ष* ला परिणाम जाणवतो (आकृती १५.२ व १५.३). किती कालावधीने? याचे उत्तर मॅक्सवेलच्या सिद्धांतातून निघाले. *यक्ष* हे अंतर पार करायला प्रकाशाला जितका वेळ लागतो, त्या कालावधीने. या साध्या 'विद्युद्प्रभारित वा चुंबकीय' वस्तूंच्या उदाहरणांत वास्तविक 'विद्युच्चुंबकीय तरंगामुळे' परिणाम होतो असे म्हणायला पाहिजे. मागे आपण पाहिले आहे की, निर्वात अवकाशात सर्व विद्युच्चुंबकीय तरंगांचा वेग प्रकाशाच्या वेगाइतकाच असतो. प्रकाश हे अस्तित्व आपल्या अधिक परिचयाचे असल्यामुळे आपण सदासर्वदा 'प्रकाशा'चा संदर्भ देतो. *य* ला किती वेगाने आणले, अमुक स्थानी ठेवताना किती चटकन ठेवले, इत्यादींवर कोणत्या तरंगलांबीचे विद्युच्चुंबकीय तरंग उत्पन्न होतील, हे अवलंबून असते. घरातील दिव्याचा स्विच दाबल्यापासून दिवा काही क्षणांनी लागतो, तत्क्षणी नाही.

हे विवेचन गुरुत्वाकर्षणाला लागू करता येते. आकृती १५.१ गिचमिड होऊ नाही म्हणून तिच्यामधील *क्ष* व *य* या वस्तूंच्या सभोवती प्रभावक्षेत्रे दाखविलेली नाहीत, परंतु ती असतात. त्या क्षेत्रांच्या एकमेकांवरील अन्योन्यक्रिया म्हणजे 'गुरुत्वाकर्षण'. अर्थात् असे म्हणूनसुद्धा गुरुत्वाकर्षणाचे सत्य स्वरूप स्पष्ट होत नाही, त्यासाठी सामान्य सापेक्षतावाद पाहिजे.

य ही जड वस्तू *क्ष* या जड वस्तूच्या आसपास आणल्यानंतर आकर्षण प्रतीत होण्याकरता अर्थात् गुरुत्वाकर्षणीय तरंग असायला पाहिजेत. ते शोधण्याचे यत्न भारत धरून जगभर चालू आहेत.

१०.३ जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान यांची समतुल्यता

या दोन वेगळ्या संकल्पनांकडे आपण या आधी दृष्टी टाकली आहे व त्यांच्या परस्पर नात्यांचा प्रश्न उपस्थित केला आहे. आता अधिक विवेचन करू या.

विद्युत् व चुंबकीय क्षेत्रांमध्ये नसलेले गुण गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रामध्ये आहेत. एक म्हणजे त्यात केवळ आकर्षण आहे, प्रतिकर्षण नाही. दुसरे हे की, गुरुत्वाकर्षणाचे बल वस्तू ज्या विविध पदार्थांपासून बनलेल्या आहेत, त्या पदार्थांवर किंवा त्या वस्तूंच्या अवस्थेवर अवलंबून नसते. एकाच वस्तुमानाच्या सर्व वस्तूंवरील पृथ्वीचे आकर्षण

एकच असते, वस्तू लाकडाची असो वा सोन्याची.

वस्तू कोणत्याही बलाला देते तो प्रतिसाद तिच्या जडत्वीय वस्तुमानावर अवलंबून असतो. जर ॲरिस्टॉटलने प्रतिपादन केल्याप्रमाणे पृथ्वी निरनिराळ्या वस्तुमानाच्या सर्व वस्तूंना एकाच बलाने आकर्षित करीत असती, तर जड वस्तू कमी वेगाने खाली पडली असती. परंतु गॅलिलिओने साध्या प्रयोगांनी सिद्ध केले की, सर्व वस्तू एकाच वेगाने खाली पडतात. म्हणजे निरनिराळ्या जडत्वीय वस्तुमानाच्या वस्तूंवरील पृथ्वीचे बल निरनिराळे आहे. हे करताना पृथ्वीला ज्ञात नसते की, कोणत्या वस्तूचे जडत्वीय वस्तुमान काय आहे. पृथ्वीचे बल वस्तूंच्या ज्या अंगभूत गुणावर अवलंबून आहे, त्या गुणाला आपण 'गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान' ही संज्ञा दिली आहे. सारांश, पृथ्वीचे बल गुरत्वाकर्षणीय वस्तुमानावर अवलंबून आहे व वस्तूचा प्रतिसाद जडत्वीय वस्तुमानावर अवलंबून आहे. गॅलिलिओ-प्रयोगानुसार सर्व वस्तूंचा प्रतिसाद एकच आहे. म्हणजे असे झाले की, जितके गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान अधिक तितके पृथ्वीचे बल अधिक व प्रवेग अधिक, परंतु जितके जडत्वीय वस्तुमान अधिक त्या प्रमाणात प्रवेग कमी! अंती सर्व वस्तूंचा प्रवेग सारखाच असतो. हे कशामुळे शक्य होत असणार? जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान समतुल्य आहेत म्हणून!

'जडत्वीय वस्तुमान व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमान यांची समतुल्यता' हा काही वैचारिक सिद्धांत नाही, तो प्रयोगसिद्ध आहे. विसाव्या शतकात योटव्योज या हंगेरियन वैज्ञानिकाने अतिशय अचूक मापनाने दाखविले की, सर्व वस्तू एकाच वेगाने खाली पडतात. सापेक्षतावादाच्या आधी हे माहीत होते; परंतु त्याचा सुयोग्य अन्वयार्थ आइन्स्टाइनने कसा लावला, ते आता पाहू.

१०.४ सामान्य सापेक्षतावादाचे आधारतत्त्व (postulate)

दुसऱ्या प्रकरणाच्या २.४ या अनुभागात केल्याप्रमाणे अशी कल्पना करू की, विश्वातील सर्व जड गोष्टींपासून सुदूर अशा अवकाशात एक कक्ष आहे. त्या कक्षाला बाहेरून एक लांबच लांब दोर लावलेला आहे. कक्षाच्या आत प्रयोग करीत असलेल्या व्यक्तीला दोर आहे, हे ज्ञात नाही. परंतु तिला गुरुत्वाकर्षणाच्या परिणामांचे ज्ञान पूर्वानुभवामुळे आहे. इतर वस्तूंपासून अतिदूर असल्याकारणे कक्षामध्ये प्रत्यक्ष गुरुत्वाकर्षण नसल्याने एका स्थानी स्थिर राहण्याकरिता त्या व्यक्तीला स्वत:ला तळाला चिकटवून ठेवायला लागेल. आता कल्पना करू की, कक्षाबाहेर कोठेतरी असलेले कोणीतरी (देव असो, दानव असो, मानव असो, ते महत्त्वाचे नाही) एका क्षणी स्थिरांक (constant) बलाने दोर ओढायला लागते. कक्ष, त्यातील व्यक्ती, सर्व काही साधने-उपकरणे त्या दोर ओढणाऱ्याच्या सापेक्षतेने प्रवेगाने वर जाऊ लागतील.

कक्षातील व्यक्तीला काय प्रतीत होईल? ती तळाला चिकटून असल्यामुळे तिलाही प्रवेग येणार, तिच्या हातातील चेंडूलासुद्धा येणार. तिने जर तो चेंडू हातातून सोडून

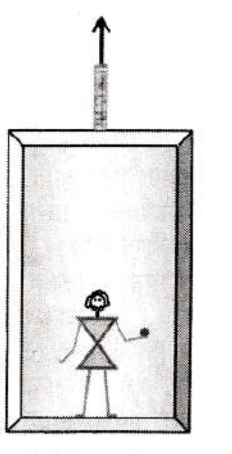
दिला, तर तो सरळ खाली पडत आहे, असे दिसेल; कारण व्यक्तीच्या शरीराद्वारे जे ↑ असे बल चेंडूवर होते, ते आता नसणार. व्यक्तीच्या अपेक्षेने चेंडूला प्रवेग असणार. व्यक्तीच्या हातात चेंडू असो, दुसरी काही वस्तू असो, ती कोणत्याही पदार्थाची बनविलेली असो, प्रयोगांनी असे आढळेल की, प्रवेग तोच आहे. हे गुणधर्म गुरुत्वाकर्षण या अस्तित्वाचे आहेत, हे त्या व्यक्तीला पूर्वानुभवाने माहीत आहे.

त्यामुळे तिचा निष्कर्ष असेल की, तिचा कक्ष गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्रात आहे. मग कक्ष स्वत: खाली का पडत नाही, हा त्या व्यक्तीला अचंबा वाटणे स्वाभाविक आहे. जर तिचे लक्ष आता दोराकडे गेले, तर तिचा निष्कर्ष असा असेल की, कक्ष कोणा एका गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्रात अधांतरी टांगलेला आहे.

हा निष्कर्ष चूक आहे, असे आपण म्हणू शकू का? अर्थात् नाही. कारण कोठेही कसलीही विसंगती नाही. ''गुरुत्वाकर्षण आहे,'' या म्हणण्यात एकच अभिप्रेत आहे की, कक्षाच्या अपेक्षेने गुरुत्वाकर्षण अस्तित्वात आहे व यात काहीसुद्धा चूक नाही. चेंडू खाली पडतो तो कक्षाच्या (व त्यातील व्यक्तीच्या) अपेक्षेने.

मुख्य लक्षात ठेवायला पाहिजे की, गुरुत्वाकर्षण सर्व वस्तूंना एकच प्रवेग देते म्हणून वरील निष्कर्ष काढता येतो. जडत्वीय व गुरुत्वाकर्षणीय वस्तुमानांची समतुल्यता यात अभिप्रेत आहे, कारण त्या कारणाने तर प्रवेग एक असतो. हा निसर्गाचा नियम नसता, तर कक्षातील व्यक्तीला स्वत:च्या अपेक्षेने भ्रमत असलेल्या चेंडूसारख्या आसपासच्या वस्तूंच्या भ्रमणाविषयी निष्कर्ष काढता आले नसते.

या विवेचनाच्या प्रारंभी आपण गृहीत धरले होते की, कक्षात व त्याच्या सभोवती गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्र नव्हते. तथापि एकदा कक्षाला प्रवेग आला की, आतील व्यक्तीच्या अपेक्षेने ते अस्तित्वात येते, एवढेच नाही, तर तिला आलेली त्याची प्रतीती वास्तव आहे. दोर ओढणाऱ्याच्या अपेक्षेने 'स्थिर कक्ष' या अक्षप्रणालीत प्रथम गुरुत्वाकर्षण नव्हते, परंतु प्रवेगामुळे उत्पन्न झाले, याचा अर्थ असा लावायचा का की, गुरुत्वाकर्षण केवळ आभासी (apparent) असते? असे नाही, हे सामान्य सापेक्षतावादात प्रत्ययाला येते. काही आभासी असतात, काही नसतात. हा निष्कर्षही विचित्रच म्हणायचा!

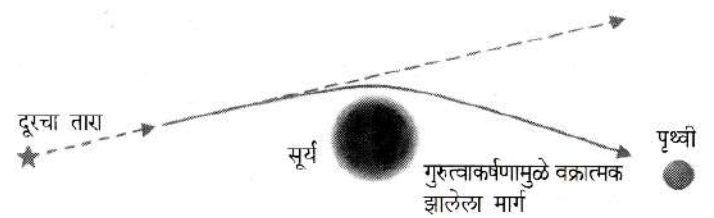


आकृति १६

विशिष्ट सापेक्षतावाद केवळ संथ, सरळ भ्रमणाऱ्या जडप्रणालींना लागू होता. कक्षाच्या उदाहरणावरून आपण अशी आशा करू शकतो की, प्रवेगित अक्षप्रणालींना लागू होणारे सिद्धांत सुयोग्य प्रयत्नाने सापडतील. ''आइन्स्टाइनला ते सापडले,'' एवढे म्हटल्यावर आणखी खोलात जाण्याचे या पुस्तकात प्रयोजन नाही.

१०.५ सामान्य सापेक्षतावादाचे काही सैद्धांतिक निष्कर्ष

दूरच्या ताऱ्याकडून येणारा प्रकाशकिरण कोणत्याही जड अक्षप्रणालीच्या अपेक्षेने वैश्विक स्थिरांक असलेल्या तीन लक्ष किमी/सेकंद या वेगाने संथ, सरळ मार्गाने जातो, हे आपल्याला माहीत आहे. प्रवेग असलेल्या कक्षाच्या अपेक्षेने त्या किरणाच्या मार्गाचे सामान्य सापेक्षतावादाने परिगणन केले, तर तो किरण वक्रात्मक मार्गाने जातो, असे आढळते. वर आपण पाहिले की, प्रवेगित कक्षाचा गुरुत्वाकर्षणाशी संबंध आहे. सामान्य सापेक्षतावादात आढळते की, गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्रातून प्रकाश वक्रात्मक मार्गाने जातो. दैनंदिन अनुभवातील क्षेत्रांची तीव्रता इतकी सूक्ष्म असते की, हा परिणाम अवलोकणे शक्य नाही. सूर्यासारख्या प्रचंड वस्तूचे प्रभावक्षेत्र, विशेषत: त्याच्या पृष्ठभागाजवळ, तीव्र असल्यामुळे त्याच्या पृष्ठभागाच्या अगदी जवळून प्रकाशकिरण गेला, तर होणाऱ्या वक्रतेचे मापन पृथ्वीवर करता येते. सूर्याच्या प्रखर तेजामुळे दूरचा तारा सुयोग्य दिसायला (म्हणजेच त्याच्याकडून येणारा प्रकाशकिरण दिसायला) खग्रास सूर्यग्रहणावेळीच वेध घ्यायला लागतात. २९ मे १९१९ या दिवशी दक्षिण अमेरिकेच्या आसपास झालेल्या ग्रहणावेळी ग्रेट ब्रिटनच्या रॉयल सोसायटीने आर्थर एडिंग्टनच्या नेतृत्वाखाली पाठविलेल्या चमूने घेतलेल्या वेधांनी हा परिणाम सिद्ध झाला व सामान्य सापेक्षतावादाविषयी असलेला संदेह दूर व्हायला आरंभ झाला. ही वक्रतासुद्धा सूक्ष्म असते, (१.७) ÷ (३६००) अंश इतकीच. सूर्य अतिदूर असल्यामुळे प्रकाशचित्रामधील प्रतिमेवरून ताऱ्याचे विस्थापन (displacement) सहज मोजता येते (आकृती १७).



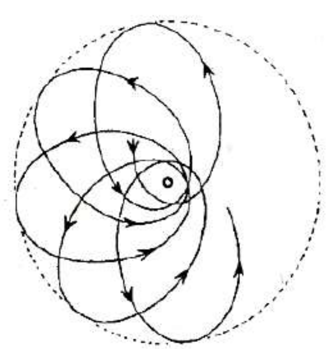
आकृती १७ : प्रकाश-कक्षेला गुरुत्वाकर्षणामुळे येणारी वक्रता
(दिसण्याच्या सुविधेसाठी वक्रता अतिशयोक्तीपूर्ण दाखविली आहे)

प्रकाशाच्या मार्गाला (तथा कक्षेला) वक्रता येते, याचा अर्थ हा होतो की, प्रकाशवेग स्थानावर, म्हणजे कक्षेच्या बिंदू बिंदूवर, अवलंबून असतो; बिंदू बिंदूगणिक वेगाची दिशा बदलत जाते. संथ, सरळ प्रकाशवेगाचे निर्विवादत्व हे विशिष्ट सापेक्षतावादाचे एक मूलभूत तत्त्व आहे व सामान्य सापेक्षतावाद विशिष्ट सापेक्षतावादावर आधारलेला आहे. वरील निष्कर्षाने त्याला बाधा आली, तेव्हा विशिष्ट सापेक्षतावाद चूक आहे, असे वाटेल. त्यामुळे असेही वाटेल की, सापेक्षतावाद एकूणच स्वसुसंगतच नाही. मग त्यात काय अर्थ उरला, असा संदेह मनामध्ये निर्माण होणे स्वाभाविक आहे.

वस्तुत: ही चिंता करण्याचे कारण नाही. कसे ते पाहा. विशिष्ट सापेक्षतावादात गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्रांचा विचारच केला नव्हता. (म्हणून तर त्याला 'विशिष्ट' ही संज्ञा दिली.) सामान्य सापेक्षतावादात त्यांचा पूर्ण विचार केलेला आहे. जोपर्यंत वस्तूंचे वेग प्रकाशवेगाच्या मानाने क्षुल्लक आहेत, तोपर्यंत न्यूटनचे स्थितिगतिविषयक नियम समाधानकारक असतात व विशिष्ट सापेक्षतावाद उपयोजिण्याची आवश्यकता नसते, तसे हे आहे. जोपर्यंत गुरुत्वाकर्षण क्षेत्रे नाहीत किंवा असली, तरी त्यांची तीव्रता दुर्लक्ष करण्याइतकी आहे, तोपर्यंत सामान्य सापेक्षतावाद उपयोजण्याची आवश्यकता नाही. दिशा बदलली, तरी प्रकाशाचा स्थिरांक वेग सेकंदाला तीन लक्ष किमी राहणार.

१०.६ बुधाच्या सूर्याभोवतीच्या कक्षेचे पुरस्सरण (precession)

फेकलेला भोवरा आपल्या अक्षाभोवती फिरत असतोच, परंतु विशेषत: त्याचा फिरण्याचा वेग कमी झाला की, अक्षही क्षितिजलंब (vertical) म्हणजे 'वर' या दिशेभोवती फिरत असतो. त्या फिरण्याला 'पुरस्सरण' हे नाव आहे. पृथ्वीसह सर्व ग्रहांच्या कक्षा विवृत्त (elliptical) आहेत. सूर्याला सर्वात जवळ असलेल्या बुधाचे

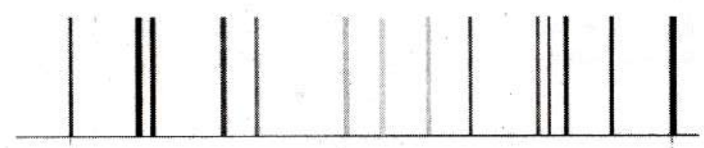


आकृती १८ : बुधाच्या कक्षेचे पुरस्सरण

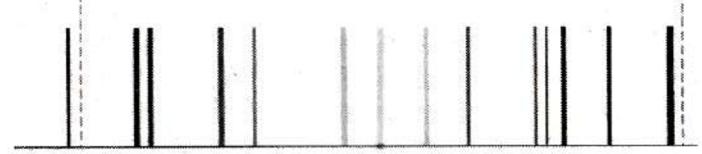
विवृत्त स्वत: फिरत राहते. म्हणजे असे की, वास्तव कक्षा आकृती १८ प्रमाणे आहे. यालाही पुरस्सरण ही संज्ञा आहे. बुधाचे पुरस्सरण कोपर्निकस-केप्लर-न्यूटन यांच्या काळापासून माहीत होते. न्यूटनच्या गुरुत्वाकर्षण सिद्धांताने सूर्यमालेतील अनेक चमत्कारांचे परिगणन करता आले, परंतु पुरस्सरणाचे करता आले नाही. सामान्य सापेक्षतावादाने ते मिळते. बुध सूर्याच्या जवळ असल्यामुळे त्याच्यावरील गुरुत्वाकर्षणीय बल अतिशय तीव्र आहे, म्हणून त्याचे पुरस्सरण अधिकतम आहे. (पृथ्वीसह इतर ग्रहांचे पुरस्सरण वेध घेऊन मोजण्याइतके नाही.) स्वत: आइन्स्टाइनने केलेले त्याचे परिगणन खगोलवेधांशी तंतोतंत जुळले. यामुळेसुद्धा सापेक्षतावादाविषयी वैज्ञानिकांच्या मनांत असलेले संदेह नष्ट व्हायला साहाय्य झाले.

१०.७ वर्णपट रेषांचे गुरुत्वीय अभिरक्त विस्थापन (red shift)

सामान्य सापेक्षतावादाला सर्वंकष मान्यता मिळायला कारणीभूत झालेली तिसरी गोष्ट म्हणजे गुरुत्वीय अभिरक्त विस्थापन. सूर्याच्या (तसेच विविध ताऱ्यांच्या) कायेत उत्पन्न झालेला निरनिराळ्या रंगांचा प्रकाश आपल्याकडे येत असतो, हे आपण तिसऱ्या



आकृती १९.१
गुरुत्वाकर्षण नसतानाची, संबंधित प्रकाशाची पृथ्वीवरील प्रयोगात मिळणारी वर्णपंक्ती (यादृच्छिक)



आकृती १९.२
प्रखर गुरुत्वाकर्षण असतानाची, म्हणजे सूर्याच्या कायेतून येणाऱ्या प्रकाशाची अभिरक्त विस्थापित वर्णपंक्ती (यादृच्छिक)

प्रकरणात पाहिले (§३.२), व अणू इत्यादींतून प्रकाशपुंज उत्पन्न होण्याची प्रक्रिया आठव्या प्रकरणात पाहिली (§८.७). संबंधित विविध मूलद्रव्ये, त्यांच्या अणूंच्या विविध ऊर्जावस्था, एखाद्या क्षणी अणू कोणत्या उच्च ऊर्जावस्थेमधून कोणत्या नीच ऊर्जावस्थेत गेला या सर्वांवर प्रकाशपुंजांचे वारंवारता, तरंगलांबी हे गुण अवलंबून असतात. उत्पत्तीनंतर प्रकाशाच्या इतर अस्तित्वांशी होणाऱ्या अन्योन्यक्रियांचे स्पष्टीकरण देतेप्रसंगी त्याचे ऊर्जापुंज हे रूप उपयोजिणे अधिक सुविधेचे असते. सापेक्षतावाद येईपर्यंत ज्ञात असलेली अशी अस्तित्वे म्हणजे अणू, व्यूहाणू, घन/द्रव/वायुरूप पदार्थ इत्यादी जड कण वा पदार्थ, व विद्युच्चुंबकीय क्षेत्रे. सामान्य सापेक्षतावादाने गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र या यादीत आणले, ही विशेष क्रांती होय.

येथे आपल्याला प्रकाशपुंजांची गुरुत्वाकर्षणक्षेत्राशी होणारी अन्योन्यक्रिया अभिप्रेत आहे. सूर्यातील (वा इतर ताऱ्यांतील) कोणत्या तरी अणूमधून उत्पन्न झालेला एखादा प्रकाशपुंज पृथ्वीपर्यंत वा इतरत्र पोहोचायला त्याला प्रथम सूर्याच्या (वा ताऱ्यांच्या) प्रखर गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रातून बाहेर पडले पाहिजे. या प्रक्रियेत त्याची ऊर्जा कमी होते.

ऊर्जा कमी झाल्याचा अर्थ हा की, त्या पुंजाची वारंवारता कमी होते, तरंगलांबी अधिक होते. (वेग अर्थात अचल स्थिरांक आहे.) दृश्य प्रकाशामध्ये अधिकतम तरंगलांबी तांबड्या रंगाच्या प्रकाशाची व न्यूनतम तरंगलांबी निळ्या-जांभळ्या रंगांच्या प्रकाशाची. सूर्यामध्ये (वा ताऱ्यांमध्ये) असलेल्या विवक्षित मूलद्रव्यांच्या पृथ्वीवर दिसलेल्या वर्णपटामध्ये आढळते की, निरनिराळ्या रंगांचे सर्व घटक जरासे तांबड्या (तथा *रक्त*) रंगाकडे सरकलेले असतात (आकृती १९). वरील स्पष्टीकरण केवळ सामान्य सापेक्षतावाद देऊ शकतो, गुरुत्वाकर्षण, विद्युच्चुंबकीय विज्ञान व प्रकाशपुंज संकल्पना यांच्या संहतीमुळे.

३.२ या अनुभागातील आकृती ५ मध्ये सूर्यप्रकाशाचा वर्णपट अखंड दाखविला आहे, कारण संबंधित प्रकाश सूर्याच्या (वा ताऱ्यांच्या) पृष्ठभागाकडून येतो, असा संदर्भ होता. अभिरक्त विस्थापनाच्या विवेचनाच्या संदर्भात (आकृती १९.१ व १९.२) जो प्रकाश अभिप्रेत आहे, तो अगदी आतील मूलद्रव्यांच्या अणूंमधून येणारा, ज्याला सूर्याच्या प्रखर गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रातून बाहेर पडायला लागते, तो. त्याची वर्णपंक्ती आकृती १९ प्रमाणे विविक्त (discrete) असणार. प्रखर गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रातून बाहेर पडायला लागण्यामुळे कमी होणारी प्रकाशपुंजाची ऊर्जा हे येथे महत्त्वाचे आहे, वर्णपंक्ती अखंड किंवा विविक्त हे नाही.

सांप्रत प्रसरणशील विश्व बहुचर्चित आहे.

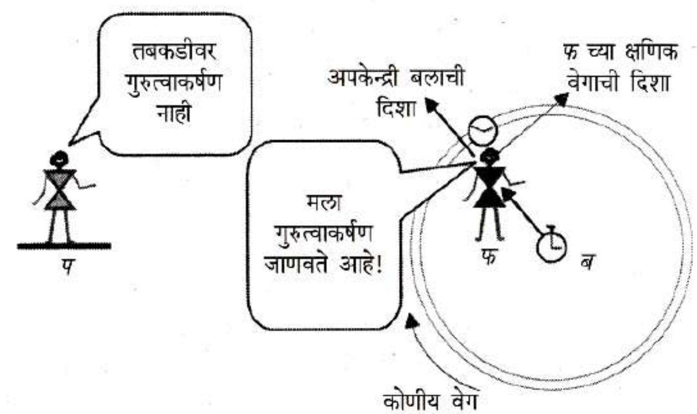
त्या संदर्भातसुद्धा *अभिरक्त विस्थापन* ही संज्ञा पुष्कळांनी ऐकली वा वाचली असेल. ते विस्थापन वेगळे आहे. सर्व तारे प्रचंड वेगाने एकमेकांपासून दूर जात असल्यामुळे त्यांच्याकडून येणारा प्रकाश अभिरक्त विस्थापन पावतो तो डॉप्लर परिणामामुळे, प्रखर गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रांमुळे नाही. डॉप्लर परिणाम आपण ध्वनिसंबंधात प्रत्यही अनुभवत

असतो. आपल्यापासून वेगाने दूर जाणाऱ्या रेलगाडीच्या एंजिनाच्या भोंग्याच्या स्वराची वारंवारता कमी झालेली आपल्या कानांना जाणवते. एंजिन आपल्याकडे येत असेल, तर ती वाढलेली जाणवते.

प्रकाशाच्या संदर्भातील सर्व अभिरक्त विस्थापन परिणाम एकाच सिद्धांतातून परंतु वेगवेगळ्या प्रकारांनी निघतात. तो सिद्धांत म्हणजे आइन्स्टाइनचा असामान्य सामान्य सापेक्षतावाद! याहून अधिक खोलात जाण्याची येथे आवश्यकता नाही.

१०.८ चक्राकार फिरणाऱ्या वस्तूंना सापेक्षतावाद कसा लागू करायचा?

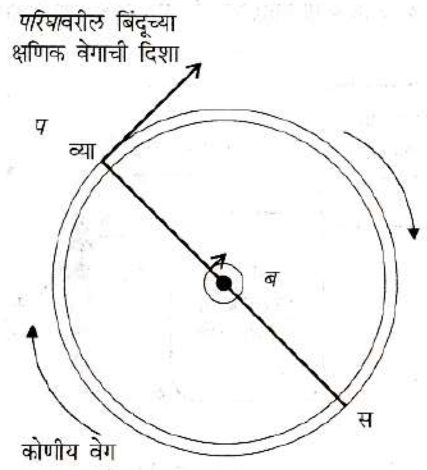
असा कालावकाश घेऊ की, कोणा एका अक्षप्रणाली *प* च्या अपेक्षेने ज्यामध्ये गुरुत्वाकर्षण नाही. म्हणजे *प* ही विशिष्ट सापेक्षतावाद लागू होणारी जड अक्षप्रणाली आहे (आकृती २०). निर्गुरुत्वाकर्षण अवकाशामध्ये एक प्रचंड व्यासाची गोलाकार तबकडी ही दुसरी अक्षप्रणाली आहे व ती 'सीडी प्लेअर'मधील सीडीसारखी *प*च्या अपेक्षेने स्वतःच्या *ब* या केंद्राभोवती संथ परंतु प्रचंड वेगाने गोल फिरत आहे. केंद्रापासून सुदूर परंतु तबकडीला चिकटून बसलेल्या फ या व्यक्तीला एक बल जाणवेल व ती चिकटून बसली नसती तर केंद्रापासून दूर फेकली गेली असती. याचा अन्वयार्थ *प* असा लावेल की त्या व्यक्तीवर जडत्वीय अपकेंद्री (centrifugal) बल आहे. परंतु तबकडीवरील फ ही व्यक्ती म्हणेल की, "माझी, तबकडी ही अक्षप्रणाली माझ्या अपेक्षेने स्थिर आहे व मी बाहेर फेकली जात आहे, त्याचे कारण तबकडीवरील



आकृती २० : फिरणारी वस्तू व गुरुत्वाकर्षणाचा 'आभास'

सर्व स्थानी गुरुत्वाकर्षणीय बल आहे.'' हे बल केंद्रस्थानी शून्य आहे व त्रिज्येबरोबर (म्हणजे अंतराबरोबर) कमी न होता वाढते. त्यामुळे न्यूटनच्या नियमात बसत नाही, परंतु *फ* या व्यक्तीचे विधान सामान्य सापेक्षतावादाला अनुसरून असल्यामुळे आक्षेपार्ह नाही.

*फ*च्या अपेक्षेने तबकडी स्थिर असताना एकमेकांशी तंतोतंत जुळणाऱ्या दोन घड्याळांपैकी एक केंद्रस्थानी बसलेल्या *ब* या व्यक्तीपाशी व दुसरे *फ* पाशी कडेला ठेवले आहे (आकृती २०). तबकडी तिच्या कोणीय वेगाने फिरायला लागल्यावर *प* या व्यक्तीला काय आढळेल? केंद्रस्थानीचे घड्याळ *प*च्या अपेक्षेने स्थिर असल्यामुळे ते सुयोग्य वेळ दाखवते व दुसरे घड्याळ वेगाने जात असल्यामुळे मागे चालले आहे, असे (विशिष्ट सापेक्षतावादाला अनुसरून) आढळेल. किती मागे हे तबकडीच्या कोणीय वेगावर अवलंबून आहे. केंद्रस्थानी बसलेल्या *ब* या व्यक्तीला तेच आढळेल, कारण फ चे घड्याळ *ब*च्या अपेक्षेने त्याच वेगाने भ्रमते आहे. याचा नावीन्यपूर्ण अन्वयार्थ आइन्स्टाइनने असा लावला की, गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रांमुळे घड्याळे मागे जातात. यातून अनेक वेगवेगळे प्रश्न उद्भवतात. उदाहरणार्थ, गुरुत्वाकर्षणीय क्षेत्रांमध्ये 'आधी, नंतर, एकसमयावच्छेदित्व' या संज्ञांचा सुयोग्य अर्थ काय? अशा प्रश्नांची उत्तरे जटिल असल्यामुळे आपण येथेच सोडून देऊ.



आकृती २१

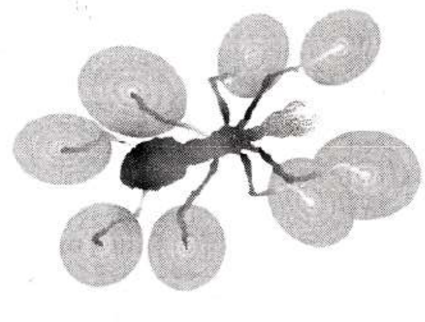
असाच प्रश्न लांबीच्या आकुंचनासंबंधी उद्भवतो. द्विमितीय पृष्ठावर काढलेल्या कोणत्याही वर्तुळाच्या परिघाला व्यासाने भागले, तर आर्किमिडीजचा π हा अबीजीय स्थिरांक मिळतो, हे आपल्याला ज्ञात आहे. तो आकड्यामध्ये लिहिला तर दशांश चिन्हापुढे शब्दश: अनंत अंक येतात. परिगणन सोपे व्हावे म्हणून सहसा π=३.१४१६ हे मूल्य घेतले, तरी चालते.

स्पष्टतेसाठी आकृती २० मधील केवल तबकडी आकृती २१ मध्ये दाखविली आहे. *प* ही बाहेरील व्यक्ती व *ब* ही तबकडीच्या केंद्रापाशी स्थिर बसलेली व्यक्ती दोघी π चे परिगणन करू इच्छितात. दोघींच्या अपेक्षेने त्रिज्या व व्यास यांना आडवी गती नाही. तबकडीच्या व्यासाचे काय किंवा आतील अगदी लहान वर्तुळाचे काय, व्यासाचे मापन दोघींचे अनुक्रमे सारखे येईल. *प* स्वत:च्या मीटर मापदंडाने परीघ मोजेल. तिचा मापदंड स्थिर असल्यामुळे परिघाचे मापन सुयोग्य येईल व तिला आढळेल की, π चे मूल्य दोन्ही वर्तुळावरून एकच म्हणजे ३.१४१६ मिळते. आतील वर्तुळ इतके लहान आहे की, त्याच्या परिघाचा वेग नगण्य आहे. परीघ मोजण्याकरिता *ब* आपला मापदंड तेथे ठेवेल.

आतील वर्तुळावर ठेवलेल्या *ब*च्या मापदंडाच्या एक मीटर या लांबीचे आकुंचन नगण्यच असणार, तेव्हा *ब*ला आतील वर्तुळाच्या परिघाच्या (व अर्थात व्यासाच्या) मापनाने π चे मूल्य ३.१४१६ मिळते असा निष्कर्ष *प* काढेल. प्रचंड तबकडीच्या परिघाचा वेग प्रचंड असणार. तो मोजण्यासाठी *ब* आपला मापदंड तेथे ठेवेल, तेव्हा तो आकुंचन पावला आहे, असे *प*ला आढळेल. परिणामी, आकुंचित मापदंडाच्या आधाराने *ब*ने मोजलेली परिघाची लांबी अधिक आहे, असे *प* सांगेल. म्हणजे *प*च्या अपेक्षेने (*परीघ*) ÷ (*व्यास*) हा भागाकार π पेक्षा अधिक येणार.

एकाच प्रतलावरील दोन वर्तुळांचा (*परीघ*) ÷ (*व्यास*) हा भागाकार वेगवेगळा मिळाला. त्याप्रमाणे तबकडीवरील अनेक वर्तुळांचा हा भागाकार त्या त्या वर्तुळाच्या त्रिज्येवर, म्हणजे त्यांच्या परिघांच्या वेगावर, अवलंबून असणार. यातून निष्पन्न असे झाले की, सर्व प्रतल वर्तुळांचा हा भागाकार ठीक π = ३.१४१६ इतकाच आला पाहिजे हे युक्लिडच्या भूमितीचे तत्त्व प्रचंड वेगाने फिरणाऱ्या वस्तूंना लागू पडत नाही. मूलभूत वेगळ्या अशा दुसऱ्या भूमितीची आवश्यकता आहे.

जोपर्यंत ती भूमिती ज्ञात नाही, तोपर्यंत सापेक्षतावाद सर्वसमावेशक होणार नाही, हे आइन्स्टाइनला केव्हाच कळून चुकले होते. गाउस, रीमान आदि गणितज्ज्ञांनी पुष्कळ काल आधी कल्पिलेल्या अशा अयुक्लिडीय भूमितीचा त्याने भूतपूर्व वर्गमित्र मार्सेल ग्रोसमान याच्या साहाय्याने अभ्यास केला व तिची सापेक्षतावादाशी सांगड घातली, तेव्हा कोठे सापेक्षतावादाला अंतिम रूप आले.



आकृती २२ : पाण्यावर बसलेल्या कीटकाच्या पायाभोवतीच्या खळ्या

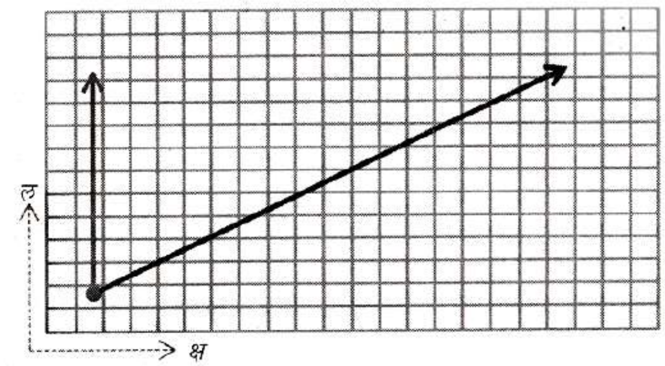
१०.९ वस्तुमानाचे वास्तव स्वरूप काय आहे?

सापेक्षतावादातून आणखी एक गोष्ट निघाली, ती म्हणजे वस्तुमानाच्या वास्तव स्वरूपाचे दर्शन. येथे त्याचे केवळ ओझरते दर्शन घेऊ. त्यासाठी दैनंदिन व्यवहारातील दृष्टांत उपयोगी पडतात.

१०.९.१ पाण्याच्या पृष्ठभागाचा दृष्टांत

कोणत्याही द्रवाच्या पृष्ठभागाला अंगभूत ताण असतो. या ताणाचा उद्‌गम द्रवाच्या व्यूहाणूंच्या आपापसांतील तसेच पृष्ठभागाबाहेरच्या हवा इत्यादी माध्यमांच्या व्यूहाणूंशी असलेल्या आकर्षण-प्रतिकर्षणामध्ये आहे. त्यामुळे द्रवाचा पृष्ठभाग ताणलेल्या रबराच्या पटासारखा असतो. समजा हालचाल नसलेल्या पाण्याच्या पृष्ठभागावर एक लहानसा कीटक आहे (आकृती २२), ट्रॅम्पोलिनवरील खेळाडूप्रमाणे. त्याचे वजन क्षुल्लक आहे म्हणून तो आत पडून बुडत नाही. कीटकाच्या पायाभोवती पाण्याच्या पृष्ठभागावर खळ्या पडतात. खळ्याद्वारे पृष्ठभाग कीटकाचे वजन पेलतो. ही आकृती केवळ खळ्या पडतात, हे दाखविण्याकरता आहे.

गुरुत्वाकर्षणाला साजेसा दृष्टांत पुढील आहे. समजा, वृक्षावरून पडलेली दोन लहानशी पाने पाण्याच्या पृष्ठभागावर तरंगत आहेत. त्यांच्याखालीसुद्धा खळ्या पडलेल्या असणार. एकमेकांपासून दूर असताना ती आहेत, तेथेच राहतात. कोणत्याही बाह्य कारणाने एकमेकांजवळ आली की, आपोआप ती एकमेकांकडे आकर्षिली जातात. हे आकर्षण पृष्ठताणामुळे उद्‌भवलेले आहे. पृष्ठताणाचे (तथा 'केशाकर्षणा'चे) विविध चमत्कार दैनंदिन व्यवहारात अनुभवायला येतात. वस्त्राचा एकच कोपरा पाण्यात बुडवला, तरी काही काळाने ओल वस्त्रभर पसरते; पाणी असलेल्या भांड्यात बारीकशी



आकृती २३ : वस्तूची कालावकाशातील कक्षा (आसन्नदर्शन)
राखी रेखा स्थिर वस्तूची, काळी रेखा चल वस्तूची

नळी घातली, तर पाणी तिच्यामध्ये अधिक वर चढते; स्वच्छ कांचेवर इतस्ततः पसरणारा पाण्याचा लहानसा थेंब स्वच्छ स्टेनलेस स्टीलवर थेंबच राहतो; पारा बहुतेक पृष्ठभागांवर थेंबाच्या स्वरूपातच राहतो, इत्यादी.

१०.९.२ भूमितीच्या दृष्टीने कालावकाशाचे औपचारिक मानचित्र

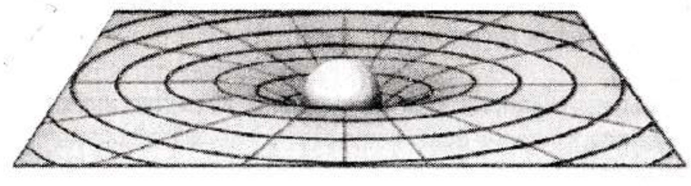
द्विमितीय कागदावरील आकृत्या औपचारिक व केवळ प्रातिनिधिक असल्या तरी आइन्स्टाइनची संकल्पना समजायला त्या उपयोगी आहेत. आकृती २३ मधील उभ्या रेखा अवकाशाच्या *क्ष, य, ज्ञ* यापैकी कोणत्याही एका परिमाणासाठी व आडव्या रेखा कालासाठी प्रातिनिधिक समजाव्यात. अर्थात सुयोग्य दिसण्यासाठी त्या साध्या आलेखाच्या पद्धतीने विविक्त काढलेल्या आहेत. काळा ठिपका एक सूक्ष्म वस्तुमानाची वस्तु आहे. जर ती स्थिर असेल, तर जसजसा काल व्यतीत होईल, तसतसा तिचा आलेख राखी रंगाच्या रेखेने दाखविता येईल. त्या रेखेच्या बाणाचा अर्थ हा नाही की, ती वस्तू भ्रमण करीत आहे, ती स्थिरच आहे. बाणाचा मतितार्थ हा की, कालप्रवाह चालू आहे. सर्वकाल ती एका स्थानी असल्यामुळे तिचा उभ्या रेखांनी दाखविलेला सहनिर्देशक बदलत नाही. जर ती काही वेगाने चालू लागली, तर तिचा आलेख काळ्या रंगाने दाखविलेल्या रेखेप्रमाणे असेल. हा वेग प्रकाशाच्या वेगाच्या मानाने क्षुल्लक असेल, तर आलेख राखी रेखेहून विशेष वेगळा नसणार. वस्तू प्रचंड वेगाने भ्रमत असेल तर तिचा आलेख काळ्या रंगाची रेखा असेल. दोन्ही रेखा एकाच वस्तूच्या निरनिराळ्या परिस्थितीतील कक्षा आहेत; *क्ष* हा वस्तूचे स्थान दर्शविणारा सहनिर्देशक कालाच्या *ल*

या सहनिर्देशकावर कसा अवलंबून असतो, हे दाखविणारा साधा आलेख नाही.

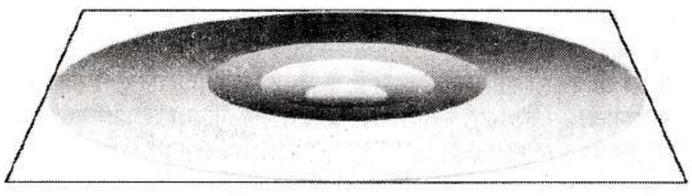
१०.९.३ वस्तुमान म्हणजे काय?

रबराच्या ताणलेल्या पटावर एखादी वस्तू ठेवली, तर तेथे खळी पडते. सामान्य सापेक्षतावादातून निष्कर्ष निघतो की, कालावकाशाला असलेल्या खळ्या म्हणजे वस्तू. खळ्यांचा एकूण आकार व स्वरूप ही वस्तुमानांची परिमाणे. §१०.९.२ मध्ये 'क्षुल्लक वस्तुमानाची वस्तू' घेण्याचे कारण हे की, तिच्या अस्तित्वामुळे कालावकाशाची स्थिती बदलू शकत नाही. एकच गोलाकार वस्तू असेल, तर तिची खळी आकृती २४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दिसेल. वस्तू ठेवली की, कालावकाशाला खळी पडणार, असे नाही. कालावकाशाची खळी म्हणजेच वस्तू. या विचित्र वाटणाऱ्या कल्पनेचे संपूर्ण आकलन व्हायला सापेक्षतावाद अधिक अभ्यासायला लागतो, परंतु पुनर्परिचयाने त्यामध्ये तथ्य असावे, एवढा विश्वास येतो.

पाण्यावर तरंगणाऱ्या पानांचे परस्पर आकर्षण या १०.९.१मधील दृष्टांताचा या ठिकाणी चांगला उपयोग होतो. अर्थात दृष्टांत ते दृष्टांतच, ते काही सत्य नाही. खरे तर आकृती २४ मध्ये गोलाकार पांढरी वस्तू दाखविण्याचे प्रयोजनच नाही; कारण



आकृती २४ : कालावकाशाची खळी म्हणजे वस्तू



आकृती २५ : वस्तूचे कालावकाशातील स्वाभाविक स्वरूप

खळी म्हणजेच वस्तु. आकृती २५ मध्ये हे दुसऱ्या प्रकारे दाखविले आहे, परंतु कल्पना तीच. (आकृती २५ मध्ये दिसणाऱ्या 'फुगवट्या'कडे दुर्लक्ष करावे!)

१०.९.४ गुरुत्वाकर्षणीय तरंग

मायकेल फॅरडेचे प्रभावक्षेत्र व जेम्स क्लार्क मॅक्सवेलचे विद्युच्चुंबकीय तरंग या दोन संकल्पना एकत्र आणून §१०.२ मध्ये आपण ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स ही न्यूटन इत्यादींच्या काळातील गर्भित संकल्पना टाकून दिली. गुरुत्वाकर्षणाचे काय? एक जड वस्तू दुसऱ्या जड वस्तूला आकर्षिते या प्रयोगसिद्ध प्रतिपादनात पुढील गोष्टी अभिप्रेत आहेत.

१. प्रत्येक वस्तूचे (आकृती २५ मधील खळीचे!) प्रभावक्षेत्र असते. तत्त्वत: ते अनंत अंतरापर्यंत असते.
२. अशा निरनिराळ्या प्रभावक्षेत्रांमधील अन्योन्यक्रिया म्हणजे गुरुत्वाकर्षण होय.
३. ॲक्शन ॲट अ डिस्टन्स सापेक्षतावादात बसत नाही, तेव्हा परिमित वेगाने भ्रमण करणारे गुरुत्वाकर्षणीय तरंग हे अस्तित्व आपोआप मानायला पाहिजे.
४. गुरुत्वाकर्षणीय तरंगांचा वेग प्रकाशाच्या वेगाइतकाच म्हणजे सेकंदाला ३,००,००० किलोमीटर असणार.

हे सर्व निष्कर्ष १९१६ मध्येच स्वत: आइन्स्टाइनने काढले होते. गुरुत्वाकर्षणीय तरंग शोधण्याचे यत्न भारत धरून जगभर चालले आहेत, याची नोंद आपण मागे घेतली आहे.

प्रकाश धरून सर्व विद्युच्चुंबकीय क्षेत्राकडे प्लांकने १९०० मध्ये दिलेल्या ऊर्जापुंजवादाच्या दृष्टीने पाहिले तर आइन्स्टाइनचे १९०५ मध्ये कल्पिलेले प्रकाशपुंज हे अस्तित्व मिळते. गुरुत्वाकर्षणीय प्रभावक्षेत्राकडे तसे पाहिले म्हणजे गुरुत्वाकर्षणीय ऊर्जापुंज मिळायला पाहिजे. परिगणनाने आढळते की, त्याची ऊर्जा इतकी सूक्ष्म आहे की, तो पुंज प्रयोगांत सापडणे दुरापास्त!

तथापि त्या अस्तित्वाला नाव तर द्यायला पाहिजे. 'आइन्स्टाइनपुंज' हे नाव सुयोग्य झाले असते परंतु 'गुरुत्वपुंज' हे आता रूढ झाले आहे.

१०.१० सांगता

पृथ्वीवरील आपल्या अस्तित्वात आपल्याला स्पष्ट व सातत्याने येणारी अनुभूती म्हणजे गुरुत्वाकर्षण. किंबहुना पृथ्वीच्या सर्व घटकांची संरचना त्याच्या अनुषंगाने झालेली आहे. इतकेच काय, आपली व सर्व जीवजंतूंच्या शरीराची संरचनासुद्धा त्याच्याच अनुषंगाने झालेली आहे. आपली जीवनशैलीसुद्धा त्याला अनुसरून असते. दोन-तीन उदाहरणे पुरेत.

घरे, इमारती, मार्ग, लोहमार्ग, सेतू इत्यादींच्या संकल्पना करताना परिगणन केले

जाते, त्याच्या मुळाशी काय असते? बांधलेल्या संरचना, त्या बांधताना वापरलेल्या पदार्थांच्या[१] व त्या त्या संरचनांमध्ये ठेवल्या जाणाऱ्या[२] किंवा त्यांवरून चालणाऱ्या[३] वस्तूंच्या भारामुळे पडणार नाहीत, याची चिंता वाहायला लागते. संभाव्य 'पडण्याच्या' मुळाशी असते गुरुत्वाकर्षण!

'चंद्राला पाहून सागराला भरते येते,' ही केवळ कविकल्पना नाही. भरती-ओहोटी चंद्रामुळे येतात. सर्वांत अधिक भरती असते आकाशात चंद्र डोक्यावर असला म्हणजे व जराशी कमी, पृथ्वीवरील आपल्या स्थानाच्या ठीक उलट्या दिशेला तो असला म्हणजे. याच्या मुळाशी काय आहे? चंद्राचे सागराच्या पाण्यावर पडत असलेले बल. म्हणजे गुरुत्वाकर्षणच!

आयुष्यभर आपला भार (म्हणजे आपले वजन) पेलत असणाऱ्या पाठीच्या कण्याचे मणके व कूर्चा झिजून प्रौढवयात पाठ दुखू लागते. वेदना कमी होण्याकरता औषधे घेणे हे आवश्यक आहे. तथापि एक उपचार असाही आहे की, प्रत्येक दिवशी काही वेळ पाण्यावर उलटे तरंगायचे. यात गुरुत्वाकर्षण आहेच! आपला भार पाण्याला खाली ढकलत असतो. न्यूटनच्या क्रिया-प्रतिक्रिया नियमाला अनुसरून पाणी आपल्याला वर ढकलते. परिणामी आपला भार कमी होतो व कण्याला पुष्कळ विश्रांती मिळते. केवळ शय्येवर आडवे पडल्याने कण्यावरील भार तितका कमी होत नाही.

या चराचरात भरून राहिलेल्या वैश्विक गुरुत्वाकर्षणाचे
सत्य व स्वाभाविक स्वरूप स्पष्ट केले सापेक्षतावादाने.

तर असा आहे ऑल्बर्ट आइन्स्टाइनचा सापेक्षतावाद. विज्ञानबाह्य विचारांवर सापेक्षतावादाच्या झालेल्या परिणामांची कारणे परिशिष्ट ३ मध्ये संक्षिप्त रूपात दिली आहेत. मानवी संस्कृतीच्या निरनिराळ्या क्षेत्रांत जगभर कित्येक प्रतिभावान व्यक्ती होऊन गेल्या, आज आहेत व भविष्यात होतीलही. गुरुत्वाकर्षणाचे पूर्ण स्वरूप ज्या वादाने दाखविले त्या सापेक्षतावादाच्या जनकाच्या जीवनाकडे व कार्याकडे पुन:पुन्हा दृष्टी टाकल्यावर वाटते की –

यासम हा!

□□

---

१. दगड, विटा, लाकूड, पोलादी कांबी, इतर धातू, सिमेंट इत्यादी
२. सामान, व्यक्ती, साधने-उपकरणे इत्यादी
३. व्यक्ती, पशू, वाहने इत्यादी

परिशिष्ट १

प्रतिशब्दकोश

अखंड	Continuous
अणू	atom
अणूकेंद्रक	atomic nucleus
अणू क्रियाधानी	atomic reactor
अणुभट्टी	atomic reactor
अतिनील	ultraviolet
अनुदान	grant
अनुभाग	section (as of Chapter)
अनुसंधान	research
अन्योन्यक्रिया	interaction
अनंत	infinite/eternal
अनंतसूक्ष्म	infinitesimal
अन्वस्तीय	parabolic
अपरिमित	indefinite
अपकेंद्री	centrifugal
अबीजीय	transcendental
अभिकेंद्री	centripetal
अभिजात	classical
अभियंता	engineer
अभियांत्रिकी	engineering
अभिरक्त विस्थापन	red shift (of spectral lines)
अर्थनिर्वचन	interpretation
अवकाश	space
अवरक्त	infra-red
अवलोकन	observation
अवस्था	state
अविष्यंदी	non-viscous
अवैध	invalid (rather than illegal)

अक्ष	axis
अंगभूत	intrinsic
असममित	asymmetric
अस्तित्व	entity, existence
आकार	size
आकुंचन	contraction
आधारतत्त्व	postulate
आभासी	apparent
आयाम	amplitude
आलोचना	criticism, review
उकलन	solution, explanation
उगमस्थान	origin, source
उत्क्रांती	evolution
उत्तरदायित्व	responsibility
उत्सर्जन	emission
उत्स्फूर्त उत्सर्जन	spontaneous emission
उद्‌गम	origination
ऊर्जा	energy
ऊर्जापुंज	quantum of energy
ऊर्जापुंजवाद	quantum theory
ऊर्जापुंज सांख्यिकी	quantum statistics
ऋणाणू	electron
ऋणाणू प्रक्षेपी	electron gun
एकक	unit (of measurement)
एकसमयावच्छेदित्व	simultaneity
एकसमयावच्छेदी	simultaneous

औद्योगिकी	industry
औष्णिक	pertaining to heat
कल्पना	idea
कक्षा	trajectory, orbit
काल	time (abstract)
कालगणना	time measurement
कालावधी	time interval
काल्पनिक प्रयोग	thought experiment
कोणीय	angular
क्रिया	action
क्रांती	revolution
खगोलभौतिकी	astrophysics
खगोलविज्ञान	astronomy
गतिज	kinetic, motional
गुरुत्वाकर्षण	gravitation
गुरुत्वाकर्षणीय	gravitational
गुरुत्वपुंज	graviton
घटित	event, phenomenon
चमत्कार	phenomenon
-च्या अपेक्षेने	relative to-
चलन	motion
चुंबकीय विज्ञान	science of magnetism
छिन्न मानसिकता	schizophrenia
जड	inertial
जाणीव	consciousness
जैवभौतिकी	biophysics
जैविक	biological
तत्त्व	principle, law (of Nature)
तरंग	wave
तात्त्विक	theoretical
तार्किक	logical
ताठर	rigid, inflexible

तीर्थयात्रा	pilgrimage (non-spiritual)
तीव्रता	intensity
त्रिमितीदर्शन	three-dimensional perspective
दृश्य (नाम)	scene
दृश्य (विशेषण)	visible
द्रवीकरण	condensation
निकटन	approximation
निरपेक्ष	absolute
निर्णय	result
निर्भर	dependent
निर्वस्तू	empty of matter
निर्वात अवकाश	vacuum, vacuo
निर्विवाद	universally acknlowledged
निर्विवादत्व	universal truth
निष्कर्ष	conclusion
नेणीव	subconsciou-sness
नैसर्गिक	according to Nature
परावर्तन	reflection
परावर्तित	reflected
परिवर्तन	transformation
परिकर्मी	operational
परिगणन	calculation
परिमाण	dimension measure
परिमित	definite, limited
परिस्थिति(ती)	circumstance(s)
पारिवारिक	familial
पुरस्सरण	precession
प्रकाशपुंज	photon
प्रकाशवेग निरपेक्षता	invariance of light speed

प्रकृतिज	originated in Nature
प्रक्रिया	procedure, manner, way
प्रतिक्रिया	reaction
प्रत्यास्थी	elastic
प्रणाली	system
प्रतल	plane
प्रतिपादन	statement, proposition
प्रतिवाद	argument
प्रतिसाद	response
प्रबंधक	manager
प्रवर्तन	induction
प्रवेग	acceleration
प्रस्थित	situated
प्राय:	a priori
प्रावस्था	phase
प्रेरित उत्सर्जन	stimulated emission
प्रेरित शोषण	stimulated absorption
प्रौद्योगिकी	technology
बाह्य	external
भार, वजन	weight
भौतिकी	physics
भ्रमण	motion, travel
भ्रमण सापेक्षता	relativity of motion
भिन्न	different
भिन्नता	difference
भ्रामक	false pseudo
महासंहती	grand unification
मानक	standard
मानकसंहती	system of standards
मापदंड	measuring rod
मापन	measurement

मापनसंहती	system of measurement
मायाजाल(स्थान)	world wide web (site)
-मितीय -	dimensional
मूलभूत	fundamental
यथार्थदर्शन	perspective
यादृच्छिक	arbitrary
रक्षापखरण	scattering of ashes
रूप	shape
रूपांतरण	transformation
लंबगोल	elliptical, oval
वनस्पतिविज्ञानज्ञ	botanist
वर्णपंक्ती	spectrum
वस्तुमान	mass
वारंवारता	frequency
वास्तव	real
विकास	development
विज्ञान	science
विजेरी	flashlight
विद्यावाचस्पती	Doctor of Philosophy
विद्युच्चुंबकीय	electromagnetic
विद्युत विज्ञान	science of electricity
विद्युदवरोध	electrical resistance
विविक्त	discrete
विवृत्त	ellipse
विष्यंदी	viscous
विशिष्ट	special, specific
विश्वोत्पत्तीविज्ञान	cosmogony
विश्वस्थितीविज्ञान	cosmology
विस्थापन	displacement
विसंगत	contradictory
विसंगती	contradiction
वेग	speed

वेळ	time in the clock
वैज्ञानिक (नाम)	scientist
वैज्ञानिक (विशेषण)	scientific
वैश्विक	universal, cosmic
व्यत्यास	converse
व्युत्पत्ती	derivation
व्युत्पन्न	derived
शब्दार्थविज्ञान	semantics
शास्त्र	philosophy of the numinous
शोषण	absorption
सममित	symmetric
समस्या	difficulty, problem
सरल, सरळ	along a straight line
सर्वसमावेशक	all-encompassing
सहनिर्देशक	coordinate
सिद्धांत	principle, a thing theoretic
सुसंवाद	harmony (as in Nature)
सुस्पष्ट, सुव्यक्त	explicit
सैनिकी	regimented
संकल्पना	concept
संगणन	computation
संथ	uniform, uniformly
संथ, सरळ	with uniform velocity
संभवनीय	probable
संभवनीयता	probability
संभवनीयता गणित	probability theory
संरचना	structure
संसंजन	cohesion
संस्पंदन	resonance
संवह	ether
संवेग	momentum
संहती	union, unification
संहिता	compilation
संज्ञा	(semantic) term
सापेक्ष	relative
सापेक्षता	relativity
सापेक्षतावाद	relativity theory
सामान्य	general (not in the sense of 'common')
सांकल्पनीय	conceptual
सांख्यिकी	statistics
सांप्रत	nowadays, currently
सूत्र	formula
स्थिति	condition
स्थितिगतिविज्ञान	mechanics
स्थितिज	potential (as in energy)
स्थिर	stationary, at rest
स्थिर ऊर्जा	rest energy
स्थिरता, स्थैर्य	state of rest or of stability
स्थिर वस्तुमान	rest mass
स्थिरांक	constant
स्वसुसंगत	self-consistent
स्वाभाविक	according to the nature
हालचाल	movement
हायपर-घन	hypercube
क्षेत्र	field, region of influence
क्षेत्रज	field-generated
क्षेत्रसिद्धांत	field theory

□□

परिशिष्ट २

आइन्स्टाइनच्या वेचक उक्ती

(आइन्स्टाइनच्या नावावर काहीही खपून गेले असण्याचा संभव असतो म्हणून बहुतेक उक्तींचे संदर्भ शोधले आहेत. अनुवादामध्ये जरासे स्वातंत्र्य घेणे अपरिहार्य आहे.)

स्वत:विषयी

१. पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर रांगत असलेल्या कीटकाला समजत नाही की, आपला मार्ग वक्र आहे. ते मला उमगले.

२. मी अतिप्रज्ञावान आहे, असे मला वाटत नाही. मी चौकस मात्र आहे व कोणत्याही समस्यांवर पुष्कळ काळ विचार करीत राहतो.

३. विश्वव्यवहार बदलणे माझ्या हाती नाही. परंतु आवाज उठवून उंचावून, पृथ्वीवर माणसांच्यात सुसंवाद साधायला व त्यायोगे जागतिक शांतता प्रस्थापण्याला हातभार लावणे हे तर आहे.

४. ज्ञान मिळविण्यापेक्षा कल्पनाशक्तीचा विकास होणे अधिक महत्त्वाचे.

५. मी जर भौतिकी वैज्ञानिक झालो नसतो, तर संगीतकार झालो असतो. आतल्या आत मी संगीत जगतो, माझी दिवास्वप्ने संगीतमय असतात.

६. मला स्फूर्ती कशापासून मिळते? वरचे तारांगण व मानवी जीवनाला आवश्यक असलेली आतील नैतिकता या दोन गोष्टींकडून.

७. (एक तरुण नातेवाइक आइन्स्टाइनला भेटायला गेला असताना भेटू शकला नाही, तेव्हा त्याला लिहिलेल्या पत्रात-) आइन्स्टाइन-काकाला भेटू न शकल्यामुळे तुझी निराशा झाली, असे कळले, म्हणून लिहितो की, तो कसा दिसतो. निस्तेज चर्या, अति वाढलेले केस, नुकतेच चालू झालेले पोटाचे तोंद, चालण्याची विचित्र ढब, सदासर्वदा ओठामध्ये चिरूट, खिशामध्ये किंवा हातामध्ये पेन... असा तो आहे. तथापि त्याचे पाय काही वाकडेतिकडे नाहीत, त्याच्या तोंडावर मसाचे व्रण नाहीत, तेव्हा त्याला एकूण 'सुंदर' म्हणता येईल. भेट न झाल्यामुळे त्याचीही निराशा झाली. (टाइम साप्ताहिक, १९ फेब्रुवारी १९७९चा अंक)

८. (मॉरिस सोलोविनला लिहिलेल्या पत्रात-) सर्वांना वाटते की, माझ्या यशाकडे मी पुष्कळ समाधानाने पाहत आहे. अगदी जवळून पाहिलेले माझे कार्य मला वेगळे दिसते. मी मांडलेल्या कल्पनात एकही अशी दिसत नाही की, जी भविष्यात